

Universidad de Pinar del Río
“Hermanos Saiz Montes de Oca”
Facultad de Informática y Telecomunicaciones
Departamento de Telecomunicaciones



Proyecto de diploma en opción al título de Master en Sistemas de Telecomunicaciones.

Título: Diseño de dispensador de energía para los sistemas fotovoltaicos centralizados, con un microcontrolador PIC.

Autor: Ing. José Carlos Valdés Fernández.

Tutor: Msc. Rolando Rodríguez Henríquez.

2011 “Año 53 de la Revolución”.

Índice

Introducción.	1
----------------------	----------

Capítulo 1

Los sistemas fotovoltaicos.

1.1. Qué es la energía solar fotovoltaica.	10
1.2. Aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos.	11
1.2.1. Sistemas individuales CD para aplicaciones domésticas.	12
1.2.2. Sistemas individuales CA para aplicaciones domésticas.	13
1.2.3. Sistemas aislados para usos productivos.	15
1.2.4. Sistemas centralizados aislados de la red.	15
1.2.5. Sistemas centralizados conectados a la red.	17
1.3. Ventajas y desventajas.	18
1.4. Conclusiones del capítulo.	19

Capítulo 2

Diseño del dispensador de energía.

2.1. Requerimientos técnicos para el diseño del dispensador de energía	20
2.2. Principio de funcionamiento del dispensador de energía.	21
2.3. Hardware del dispensador de energía.	22
2.3.1. Diseño del circuito eléctrico. Principales componentes.	23
2.3.2. Diseño del circuito y funcionamiento de la comunicación con la PC.	34
2.4. Implementación de los software para el dispensador de energía.	36
2.4.1. Arquitectura del software del microcontrolador.	36
2.4.2. Detalles de la implementación del software del microcontrolador.	37
2.4.2.1. Formato de la trama de comunicación.	37
2.4.2.2. Recepción de los datos enviados desde la PC.	38
2.4.2.3. Transmisión de datos hacia la PC.	39

2.4.3. Módulos del software del microcontrolador.	41
2.4.3.1. soft_control.h	41
2.4.3.2. soft_control.c	42
2.4.4. Programa AnMET para monitorear el dispensador de energía.	45
2.4.4.1. Descripción de las interfaces.	46
2.5. Conclusiones del capítulo.	53

Capítulo 3

Construcción y evaluación del dispensador de energía.

3.1. Diseño de los circuitos impresos	54
3.2. Construcción de las interfaces electrónicas del dispensador de energía	57
3.3. Conexiones del dispensador de energía	62
3.4. Resultados de la verificación y la validación del dispensador de energía	63
3.5. Conclusiones del capítulo.	67

Capítulo 4

Valoración técnico-económica del dispensador de energía.

4.1. Consideraciones tecnológicas para la aplicación práctica	68
4.2. Gastos de la investigación	68
4.3. Gastos de fabricación del prototipo	70
4.4. Conclusiones del capítulo	72

Conclusiones	73
---------------------	-----------

Recomendaciones	74
------------------------	-----------

Bibliografía y referencia	75
----------------------------------	-----------

La aplicación de los sistemas fotovoltaicos se expande rápidamente, la importancia del uso de estas fuentes de energía ha dado como resultado un incremento del esfuerzo de las investigaciones en esta área.

Debido al auge que han alcanzado los sistemas fotovoltaicos a nivel mundial, hoy día esta nueva tecnología constituye uno de los pilares fundamentales en la generación de energía no contaminante. En Cuba, se ha empezado a crear conciencia de este conjunto de cambios que están ocurriendo y ha comenzado a realizar esfuerzos para desarrollar una línea de trabajo en materia de aplicación de los sistemas fotovoltaicos para la generación de energía.

Uno de los problemas principales de las micro redes eléctricas con generación mediante fuentes de energía renovable es la mala gestión del recurso energético por algunos usuarios. Esto pone en peligro la continuidad del servicio eléctrico si no hay una limitación del consumo energético para cada usuario. Este aspecto social ha motivado el presente proyecto de diploma en el cual se aborda el diseño de un dispensador de energía para los sistemas fotovoltaicos centralizados, que garantiza un funcionamiento correcto y fiable de estos sistemas fotovoltaicos.

La estructura del presente proyecto es la siguiente:

- Capítulo 1: Se exponen los basamentos teóricos que permiten una mejor comprensión del tema, así como un estudio de los sistemas fotovoltaicos más utilizados en la actualidad a nivel mundial.
- Capítulo 2: Se dedica al diseño del hardware y del software de todas las partes que integran el producto desarrollado.
- Capítulo 3: Se describe la construcción y evaluación del prototipo.
- Capítulo 4: Contiene la valoración técnico económico de las soluciones desarrolladas.
- Finalmente se reflejan las conclusiones y recomendaciones del mismo.

Summary

The application of photovoltaic systems is growing rapidly, the importance of using these energy sources has resulted in increased research effort in this area.

Because of the boom have reached photovoltaic systems worldwide, today this new technology is one of the cornerstones in the generation of clean energy. In Cuba, has begun to raise awareness of this set of changes that are taking place and has begun efforts to develop a line of work in the application of photovoltaic systems for power generation.

One of the main problems of micro grids with generation through renewable energy sources is poor management of energy resources by some users. This endangers the continuity of electric service if there is a limitation of energy consumption for each user. This social aspect has motivated this diploma project which addresses the design of a dispenser of energy for centralized photovoltaic systems, which ensures a correct and reliable operation of these photovoltaic systems.

The structure of this project is as follows:

- Chapter 1: We describe the theoretical foundations that allow a better understanding of the subject, and a study of PV systems commonly used today worldwide.
- Chapter 2: Dedicated to the design of hardware and software of all the parts of the developed product.
- Chapter 3: We describe the construction and evaluation of the prototype.
- Chapter 4: Contains technical and economic assessment of the developed solutions.
- Finally, reflect the conclusions and recommendations.

Introducción

Sin duda alguna los recursos energéticos naturales no son eternos ni infinitos. La voracidad del consumo nos ha llevado a pensar en fuentes de energía alternativas que, primordialmente, sean limpias, es decir, que no sumen más contaminación a nuestra atmósfera. Un claro ejemplo de una fuente inagotable de energía es la luz solar.

La privilegiada posición geográfica de Cuba, adonde llegan desde enero hasta diciembre y de manera casi uniforme las radiaciones solares, le permite disponer en todo su territorio de una energía ilimitada y limpia, que pudiera contribuir a la solución del problema energético nacional. Desde hace algunos años nuestro país ha encaminado sus pasos hacia la revolución energética con el objetivo de aprovechar mejor las fuentes de energía renovables. De acuerdo con la Oficina Nacional de Estadísticas, Cuba posee 7 624 Sistemas Fotovoltaicos aislados. Con estos se han electrificado objetivos sociales en zonas montañosas y apartadas de la red eléctrica, incluyendo 460 consultorios del médico de la familia, 1 864 salas de televisión y 2 361 escuelas rurales, 275 viviendas aisladas, 5 hospitales, entre otros. En la actualidad existen dos sistemas conectados a la red eléctrica: uno en el Museo de Ciencias Naturales de Pinar del Río y otro en el Centro de Estudios Solares en Bartolomé Masó, Granma.

CUBASOLAR, la organización no gubernamental cubana para la promoción de las fuentes renovables de energía y el respeto ambiental, apoya los proyectos de electrificación rural con energía solar fotovoltaica. EcoSol Solar, división de la Corporación Copextel, perteneciente al Ministerio de la Informática y las Comunicaciones, se especializa en brindar soluciones energéticas ambientalmente sustentables a partir del aprovechamiento de la energía solar y otras fuentes renovables (eólica).

EcoSol Solar por su parte, ha desarrollado proyectos de electrificación con sistemas fotovoltaicos, mediante paneles solares, en naciones como Bolivia y Venezuela, en el marco de la Alternativa Bolivariana para las Américas (ALBA) y en otras de Centroamérica y África.

Según se conoció, en una entrevista con los especialistas de dicha empresa, todos estos sistemas fotovoltaicos se calculan para un determinado consumo por día, es decir que al sistema fotovoltaico no se le deben conectar cargas que sobrepasen dicho valor máximo de consumo por día, ya que esto provoca el deterioro de las baterías y por tanto se acorta mucho el tiempo de vida útil del sistema fotovoltaico, y los costos por mantenimiento se elevan demasiado.

Uno de los problemas principales de los sistemas fotovoltaicos centralizados es la mala gestión del recurso energético por algunos usuarios. Esto pone en peligro la continuidad del servicio eléctrico si no hay una limitación del consumo energético para cada usuario. Este aspecto social ha motivado el diseño de un dispensador de energía, que garantiza un funcionamiento correcto y fiable de sistemas autónomos con sistemas fotovoltaicos centralizados.

El dispensador de energía que se ha diseñado posee un microcontrolador de la familia PIC de la compañía MICROCHIP el cual visualiza en display la energía asignada para el día, además de varios parámetros como son voltaje, corriente, potencia en VA, potencia en Watt y factor de potencia, posee un protocolo de comunicación para automatizar el monitoreo del usuario, además de poder tener estadísticas máximas de cualquiera de los parámetros antes mencionados.

Antecedentes del tema.

Se tienen como antecedentes cognoscitivos sobre el tema de investigación, la dirección y ejecución de otros proyectos en el área de innovación tecnológica de la Empresa de Componentes Electrónicos a escala territorial, ramal y nacional, donde ha participado el maestrante en calidad de autor o coautor de los resultados obtenidos.

El estado actual de la tecnología de obtención de los metros contadores de energía eléctrica cuenta con diferentes vías para su obtención, entre éstas tenemos:

- a. El diseño de metros contadores electromagnéticos de discos, los cuales han desaparecido del mercado internacional por ser tan vulnerables a la distorsión de la lectura por parte de los clientes además de tener muy baja sensibilidad en sus mediciones, de los cuales en Cuba hay una gran diversidad de fabricantes y se pretenden sustituir totalmente.
- b. El diseño de los metros contadores digitales con microcontrolador pero con visualización electromecánica, que son los que actualmente el país adquiere de la República Popular China, los que mantienen un bajo costo pero con un nivel tecnológico medio en el desarrollo de estos productos.
- c. El diseño de los metro contadores digitales con microcontrolador pero con visualización en display LCD, que son los que actualmente se usan en gran parte del mundo pero con un alto costo del sistema que forman parte, ya que difieren de las formas de pago de la energía dígase prepagadas o no, también de los parámetros eléctricos de la red dígase voltaje, frecuencia y otros.

Problema a resolver.

Uno de los problemas principales de las micro redes eléctricas con generación mediante fuentes de energía renovable es la mala gestión del recurso energético por algunos usuarios. Esto pone en peligro la continuidad del servicio eléctrico si no hay una limitación del consumo energético para cada usuario. Este aspecto social ha motivado el diseño de un dispensador de energía, que garantiza un funcionamiento correcto y fiable de sistemas autónomos con sistemas fotovoltaicos centralizados.

Fundamento del Proyecto.

La Empresa de Componentes Electrónicos de Pinar del Río, entre otras cosas, tiene la tarea de diseñar y fabricar las partes que conforman un sistema fotovoltaico, entiéndase: panel solar, regulador de carga e inversor. Con el objetivo de sustituir importaciones, disminuir los costos de producción y acondicionar los productos a las necesidades de nuestro país.

En la actualidad se ha logrado el diseño y la fabricación de varios módulos de paneles solares, los cuales han tenido muy buena aceptación en Cuba y en el resto de los países donde se han puesto en funcionamiento, cumpliendo con las normas de calidad internacionales establecidas para dicho producto. Otro logro alcanzado es el diseño del regulador de carga, el cual fue evaluado en España, por la firma ISOFOTON de reconocido prestigio internacional, cumpliendo con todos los requisitos necesarios para este tipo de producto. Actualmente se encuentra en contratación la fabricación de 1000 unidades, las cuales se irán incrementando en la medida de las necesidades del país.

Desdichadamente todavía no se cuenta con el diseño de un equipo que regule el consumo de los usuarios de los sistemas fotovoltaicos, lo cual es imprescindible para alargar la vida útil de dichos sistemas. Esta situación genera dificultades para dar los servicios de postventas del sistema fabricado como son: el mantenimiento y la reparación, por lo cual surge la necesidad de realizar el proyecto de investigación que se presenta, con el objetivo de desarrollar el diseño de un dispensador de energía eléctrica para los sistemas fotovoltaicos centralizados. Estos resultados proporcionarán la soberanía tecnológica de este producto y la posibilidad de contar con una patente comercial propia, que permita incluso exportar el nuevo modelo desarrollado. Este proyecto se justifica por su impacto técnico, al mantener y mejorar los servicios de suministro de la energía fotovoltaica. Además, por los impactos económicos y sociales, que se esperan contribuyan a alcanzar la soberanía tecnológica en la rama.

Objeto.

El dispensador de energía para regular el consumo de los usuarios en los sistemas fotovoltaicos centralizados.

Campo de acción.

La investigación es el desarrollo personalizado de un dispensador de energía, en el campo de acción de la automática y las comunicaciones, lo cual incluye: el diseño de las tarjetas electrónicas (hardware), el desarrollo y puesta a punto de los programas de trabajo del microcontroladores (software), la obtención de protocolos propios para la comunicación con la PC empleando como soporte tecnológico del producto y el uso de software de alto nivel para crear programas personalizados residentes en la PC.

Objetivos.**Objetivo General:**

Diseñar, construir y evaluar un prototipo de dispensador de energía con sistema automatizado de adquisición y procesamiento de los datos, para que satisfaga los requerimientos técnicos solicitados, con soluciones técnicas propias, eficientes, factibles de generalizar a escala industrial y que aseguren la soberanía tecnológica en esta rama.

Objetivos Específicos:

1. Estudiar la teoría del objeto de la investigación, su desarrollo y evolución a escala internacional y en Cuba, para determinar las tendencias actuales en el desarrollo de estos circuitos y la factibilidad de la investigación científica.
2. Realizar el diagnóstico del estado actual del objeto y campo de acción de la investigación a partir de los diferentes modelos de metros contadores, particularizando en los monofásicos a 2 hilos.
3. Asimilar y aplicar las herramientas de diseño para el desarrollo de aplicaciones con microcontroladores de la familia PIC.

4. Elaborar microprogramas de trabajo para el funcionamiento de los bloques funcionales que integran el modelo de metro contador a desarrollar empleando el microcontrolador 18F2520 de la familia PIC.
5. Diseñar y construir las tarjetas electrónicas.
6. Validar, empleando la simulación lógica y el montaje e implementación de una maqueta, el funcionamiento de las soluciones de hardware y software que se alcanzan en la investigación.
7. Realizar la valoración técnico-económica de los resultados alcanzados para la introducción práctica y su generalización.
8. Establecer los requerimientos tecnológicos para integrar y aplicar las soluciones técnicas de hardware y software diseñadas con vistas a su generalización mediante la producción masiva del producto en una serie cero.

Metodología y herramientas de diseño empleadas en la investigación

A continuación se presenta una tabla donde se relacionan los métodos empleados en la investigación, según las etapas de ésta:

Tabla 1.1. Métodos de investigación utilizados.

Etapas	Tareas que distinguen la etapa	Método Investigativo
Factibilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Diagnóstico actual de la tecnología que se investiga y sobre el estado actual del arte. Tendencias futuras. • Factibilidad Técnico Económica. Elaboración del Proyecto. • Establecimiento del problema, la hipótesis, el marco contextual, el marco teórico, los Objetivos del Proyecto, el Cronograma de trabajo, la planificación de los recursos. • Elaboración del Presupuesto. Análisis de la Tarea técnica con el cliente. 	Histórico. Hipotético-deductivo. Observación científica de las Mediciones. Recopilación y análisis de la información. Enfoque Dialéctico.
Diseño Preliminar	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño de las soluciones técnicas. • Asimilación de las nuevas tecnologías, componentes y herramientas de diseño. • Obtención y simulación de soluciones de software para el microcontrolador PIC. • Desarrollo de rutinas en lenguaje C. 	Histórico. Recopilación, análisis, y síntesis de la información. Enfoque Sistémico. Medición de datos y Técnica experimental.
Etapas	Tareas que distinguen la etapa	Método Investigativo
Prototipo	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción del prototipo. • Diseño de los circuitos impresos. Montaje de componentes, ensamblaje de los equipos y 	Técnica experimental. Modelación. La Abstracción y la

	partes. Fabricación del prototipo. • Pruebas y ensayos, ajustes del prototipo. • Verificación y control de calidad.	Integración. Recopilación, análisis y síntesis de información. Sistémico.
Validación	• Realizar la Validación del Prototipo en Pruebas de campo. • Elaborar la Documentación Técnica. • Evaluar los impactos.	Medición y Técnicas Experimentales. Sistémico y Dialéctico. Recopilación, análisis y síntesis de información.

Herramientas de diseño y metodologías a emplear en el proyecto.

Para el desarrollo de las soluciones de hardware y software del proyecto, y la ejecución de las necesarias pruebas y ensayos durante la etapa de diseño preliminar, se procede a realizar el montaje de componentes en una tarjeta de prueba. Además, se desarrollan rutinas de programas en código fuente para el microcontrolador PIC, las cuales se van poniendo a punto por separado para asegurar el trabajo de los diferentes módulos del sistema y finalmente se integran por etapas hasta alcanzar el código fuente definitivo.

Para la realización del Proyecto se emplean las siguientes metodologías [GOM_02], [MIC_02], [MIC_03] y herramientas de diseño para garantizar la calidad de los resultados:

- 1) Software MPLAB 7.5 para la simulación, detección de errores y programación con PIC (Microchip).
- 2) Software compilador CCSC (PCW) con lenguaje C para ensamblar código PIC.
- 3) Software ORCAD 16.0 para el diseño de circuitos impresos.
- 4) Software Borland C++ Builder versión 6 para crear aplicaciones residentes en la PC.
- 5) Software MatLab para el tratamiento estadístico de las mediciones.

Para el diseño del software de una aplicación se comienza por generar y editar el programa fuente en lenguaje C, para ello se emplea el MPLAB 7.5 y se obtiene un fichero de programa fuente con extensión C. Posteriormente se ensambla y compila el programa, obteniéndose éste en lenguaje de código de las

instrucciones del microcontrolador PIC. Cuando el programa fuente está correcto, se genera el fichero con extensión **.hex** que contiene el código ensamblador a programar en el PIC.

El proceso de puesta a punto finaliza cuando el microprograma satisface los requerimientos de diseño del producto y se procede a grabar el microprograma en el PIC almacenando el contenido del **.hex** en la memoria EEPROM, para ello se utiliza la herramienta PICSTART PLUS como programador.

Por último se efectúan las pruebas y ensayos finales empleando el hardware diseñado que contiene el microcontrolador PIC recién grabado y se verifica el correcto funcionamiento del conjunto hardware/software.

Aportes teóricos y prácticos.

Teóricos:

Una metodología para su implementación y evaluación en el marco de soluciones técnicas según las especificaciones de calidad solicitadas a un precio competitivo y con la correspondiente soberanía tecnológica.

Práctico:

El diseño de un modelo de dispensador de energía para los sistemas fotovoltaicos con los microcontroladores de la familia PIC con características propias, que satisface las especificaciones técnicas solicitadas.

Resultados esperados:

1. Se obtendrá una síntesis bibliográfica del estado actual de la innovación tecnológica en el campo del diseño de un dispensador de energía para los sistemas fotovoltaicos.
2. Se obtendrá el software para el funcionamiento del dispensador de energía para los sistemas fotovoltaicos.
3. Se obtendrá el circuito eléctrico del dispensador de energía para los sistemas fotovoltaicos.

4. Se obtendrá un prototipo del dispensador de energía para los sistemas fotovoltaicos para su futura fabricación a gran escala.

Impactos que se esperan obtener:

Económicos:

- Generar exportaciones.
- Mejoramiento de la calidad del servicio con sistemas fotovoltaicos.
- Factibilidad de ofrecer servicio de post venta.

Tecnológicos:

- Se alcanza la soberanía tecnológica.

Ambiental:

- Permite utilizar una tecnología limpia ya que no usa combustible fósil, lo que reduce la emisión de gases tóxicos hacia la atmósfera.

Los sistemas fotovoltaicos.

1.1. Qué es la energía solar fotovoltaica.

La energía solar fotovoltaica es aquella que se obtiene por medio de la transformación directa de la energía del sol en energía eléctrica [VIL_01], [PRO_01], [VIL_02].

Esta definición de la energía solar fotovoltaica, aunque es breve, contiene aspectos importantes sobre los cuales se puede profundizar:

1. La energía solar se puede transformar de dos maneras:

La primera utiliza una parte del espectro electromagnético de la energía del sol para producir calor. A la energía obtenida se le llama energía solar térmica. La transformación se realiza mediante el empleo de colectores térmicos.

La segunda, utiliza la otra parte del espectro electromagnético de la energía del sol para producir electricidad. A la energía obtenida se le llama energía solar fotovoltaica. La transformación se realiza por medio de módulos o paneles solares fotovoltaicos.

2. La energía solar fotovoltaica se utiliza para hacer funcionar lámparas eléctricas, para iluminación o para hacer funcionar radios, televisores y otros electrodomésticos de bajo consumo energético, generalmente, en aquellos lugares donde no existe acceso a la red eléctrica convencional.
3. Es necesario disponer de un sistema formado por equipos especialmente contruídos para realizar la transformación de la energía solar en energía eléctrica. Este sistema recibe el nombre de sistema fotovoltaico y los equipos que lo forman reciben el nombre de componentes fotovoltaicos.

La energía solar se encuentra disponible en todo el mundo. Algunas zonas del planeta reciben más radiación solar que otras, sin embargo, los sistemas fotovoltaicos tienen muchas aplicaciones.

En el caso particular del Caribe, son una alternativa muy interesante, desde las perspectivas técnica y económica, pues la región dispone durante todo el año de abundante radiación solar.

Según las clasificaciones de la intensidad de la radiación solar en diferentes regiones del mundo, el Caribe es una región muy privilegiada con respecto al recurso solar disponible, aunque siempre es necesario evaluar el potencial solar de un sitio específico donde se planea instalar un sistema fotovoltaico.

La energía del sol es un recurso de uso universal; por lo tanto, no se debe pagar por utilizar esta energía. Sin embargo, es importante recordar que para realizar la transformación de energía solar en energía eléctrica se necesita de un sistema fotovoltaico apropiado. El costo de utilizar la energía solar no es más que el costo de construir, instalar y mantener adecuadamente este sistema.

1.2. Aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos.

Un sistema fotovoltaico es un conjunto de equipos contruidos e integrados especialmente para realizar cuatro funciones fundamentales:

- Transformar directa y eficientemente la energía solar en energía eléctrica.
- Almacenar adecuadamente la energía eléctrica generada.
- Proveer adecuadamente la energía producida y almacenada.
- Utilizar eficientemente la energía producida y almacenada.

En general, los sistemas fotovoltaicos pueden tener las mismas aplicaciones que cualquier sistema generador de electricidad. Sin embargo, las cantidades de potencia y energía que se pueden obtener de estos sistemas están limitadas por la capacidad de generación y almacenamiento de los equipos instalados, especialmente de los módulos y la batería respectivamente, y por la disponibilidad del recurso solar.

Técnicamente, un sistema fotovoltaico puede producir tanta energía como se desee; sin embargo desde el punto de vista económico, siempre existen limitaciones presupuestarias en cuanto a la capacidad que se puede instalar.

Los sistemas fotovoltaicos se utilizan para proveer de energía a lámparas, radios, reproductoras de cintas, pequeños televisores, teléfonos celulares, bombas de agua, purificadora de agua y equipos profesionales de radiocomunicación.

Dependiendo de su aplicación y de la cantidad y tipo de energía producida, los sistemas fotovoltaicos se pueden clasificar en las siguientes categorías:

- Sistemas individuales de Corriente Directa (CD) para aplicaciones domésticas.
- Sistemas individuales de Corriente Alterna (CA) para aplicaciones domésticas.
- Sistemas aislados para usos productivos.
- Sistemas centralizados aislados de la red.
- Sistemas centralizados conectados a la red.

A continuación se describirá brevemente las características más importantes de estos sistemas.

1.2.1. Sistemas individuales CD para aplicaciones domésticas.

La aplicación más frecuente y generalizada de la energía solar fotovoltaica es la electrificación rural de viviendas a través de sistemas individuales CD. Estos sistemas están compuestos, normalmente, por un panel fotovoltaico con una capacidad menor que 100 W, un regulador de carga electrónico a 12 V, una o dos baterías con una capacidad total menor que 150 A-h, 2 ó 3 lámparas a 12 V y un tomacorriente para la utilización de aparatos eléctricos de bajo consumo energético diseñados especialmente para trabajar a 12 V CD.

Las características más sobresalientes de este tipo de sistemas son:

1. El voltaje nominal es 12 V de corriente directa: Esto implica que solamente se pueden usar lámparas y aparatos que trabajen a 12 V. Es importante mencionar que, aunque existe una gran variedad de lámparas y electrodomésticos que trabajan a 12 V, para adquirirlos, es necesario contactar a distribuidores de equipos fotovoltaicos y esto representa inconvenientes en tiempos de entrega (pues se deben importar) y de costos más altos (pues son de fabricación especial).
2. El costo comparativo de este tipo de sistema es más accesible para los presupuestos familiares: Esto debido a que se utiliza exclusivamente para satisfacer necesidades básicas de electrificación (luz, radio y TV), los equipos son de baja capacidad; debido a que el sistema trabaja a 12 V, no se necesita usar un inversor. Por estas razones, el costo inicial del sistema es comparativamente menor y muy atractivo para soluciones básicas de electrificación rural fotovoltaica.

1.2.2. Sistemas individuales CA para aplicaciones domésticas.

Los sistemas individuales CA se pueden considerar como una ampliación de los equipos y capacidades de un sistema individual CD. La diferencia fundamental que existe entre ambos sistemas es que el primero dispone de un inversor electrónico para transformar la tensión de 12 V de corriente directa a 120 V de corriente alterna. En cuanto al resto de componentes, ambos sistemas son idénticos.

Los aparatos o cargas que con mayor frecuencia se utilizan con sistemas CA son lámparas fluorescentes de alta eficiencia y bajo consumo, equipos de audio (radios, radio grabadoras y equipos de alta fidelidad), teléfonos celulares, equipos de vídeo (televisores y videograbadoras), computadoras y bombas de agua.

Los sistemas fotovoltaicos CA tienen mayor capacidad de producción de energía (paneles fotovoltaicos de mayor capacidad) y mayor capacidad de

almacenamiento (batería de mayor capacidad) que los sistemas fotovoltaicos CD. La experiencia dice que para necesidades de electrificación mínimas – por ejemplo 2 lámparas, 1 radio y 1 TV (blanco y negro) un sistema fotovoltaico CD es la solución económica y técnicamente más adecuada y accesible; sin embargo, si las necesidades de electrificación comprenden el uso de más de 2 lámparas, radio-caseteras de mediana potencia, televisores a color, bombas de agua u otro tipo de electrodoméstico, entonces, sería mejor instalar un sistema fotovoltaico CA.

Las características más sobresalientes de este tipo de sistemas son:

- El sistema puede proveer energía tanto a 120 V de corriente alterna como a 12 V de corriente directa:

La consecuencia más importante de esto es que se pueden utilizar lámparas y electrodomésticos a 120 V, los cuales son más comunes, más baratos y más fáciles de adquirir que los aparatos a 12 V, o se puede utilizar directa y simultáneamente aparatos que naturalmente ya funcionan a 12 V, por ejemplo radios para automóviles, televisores portátiles, etc.

Esta flexibilidad en el uso de aparatos CA y CD es una de las cualidades más importantes de los sistemas individuales CA.

- El costo del sistema es relativamente más alto:

Es lógico que al agregar un componente más (el inversor) al sistema básico CD, los costos iniciales se incrementan. Sin embargo, es importante considerar que el costo de las lámparas y de todos los equipos que funcionan a 120 V es considerablemente menor que el de las lámparas y los equipos que funcionan a 12 V. Por otra parte, actualmente es más fácil adquirir o reemplazar equipos de 120 V en el comercio local que reemplazar equipos de 12 V.

1.2.3. Sistemas aislados para usos productivos.

Además de la aplicación de electrificación de las viviendas rurales, se puede aplicar la energía solar fotovoltaica para usos productivos y comerciales, sobre todo en la agricultura. Ejemplos de este uso son:

- Bombeo de agua para irrigación y cercas eléctricas para ganadería: Este permite aumentar la productividad del área cultivable y diversificar el cultivo.
- Refrigeración de alimentos: Incrementa la calidad del producto y permite mayores márgenes de tiempo entre cosecha y entrega en el mercado.
- Comunicación: Facilita la venta en mercados alejados y el acceso a información de precios en el mercado.
- Iluminación: Permite el procesamiento de cultivos y productos en horas de la noche y en áreas cubiertas.

La capacidad y configuración de un sistema para usos productivos depende de la aplicación. Por ejemplo, los sistemas de bombeo de agua generalmente no requieren de baterías, mientras que aplicaciones que exigen una disponibilidad de energía continua, como la refrigeración, sí la necesitan.

1.2.4. Sistemas centralizados aislados de la red.

Los sistemas fotovoltaicos son una opción válida para la electrificación rural cuando:

- No existe la posibilidad técnica o económica de llevar la red eléctrica convencional hasta cada una de las viviendas.
- Las familias demandan cantidades moderadas de energía.

Si las viviendas por electrificar se encuentran ubicadas en forma dispersa, los sistemas fotovoltaicos individuales son la mejor alternativa, debido a su autonomía y modularidad. Sin embargo, si las casas por electrificar se encuentran ubicadas relativamente próximas entre sí, la opción más apropiada puede ser un **sistema fotovoltaico centralizado** debido a que la concentración de equipos y energía ofrece ventajas desde los puntos de vista técnico y económico.

Un sistema centralizado es un sistema fotovoltaico capaz de satisfacer la demanda energética de una comunidad con electricidad que se produce, almacena y transforma en un sistema fotovoltaico central y que luego se distribuye, a través de líneas eléctricas, hasta cada una de las viviendas [VIL_01].

Los sistemas centralizados tienen la misma estructura que un sistema fotovoltaico individual con suministro CA. La diferencia fundamental radica en que los sistemas centralizados son capaces de proveer energía en cantidades y en calidades muy superiores que la energía producida por un sistema fotovoltaico individual. Sin embargo, las características fundamentales de los sistemas centralizados son la concentración de equipos y la distribución de electricidad; no siendo así la cantidad de energía que estos sistemas producen.

Las cargas que se utilizan son lámparas fluorescentes de alta eficiencia, equipos de audio (radios, equipos de sonido de alta fidelidad), equipos de video (televisores de color, salas comunales de cine), equipos de computación, equipos de bombeo de agua potable, congeladores para fábricas de hielo, lámparas para iluminación pública y otros.

Las características más sobresalientes de este tipo de sistemas son:

- Mejor calidad en el suministro de energía eléctrica:

Los sistemas centralizados proveen energía de gran calidad gracias a la utilización de inversores de mayor calidad. Por lo tanto, los usuarios pueden utilizar en sus hogares aparatos eléctricos o electrónicos que requieran un suministro de energía estable y seguro.

- Mayor robustez del sistema:

Los equipos utilizados en los sistemas centralizados son construidos especialmente para resistir incrementos breves, pero intensos, de demanda de

energía eléctrica. Además, la utilización de cargas altamente inductivas (por ejemplo, motores) no representa ningún problema.

También, estos sistemas poseen protecciones contra descargas atmosféricas, contra abuso de la capacidad de los sistemas, protecciones contra cortocircuitos, etc.

- Menor costo de la energía:

La cualidad más importante de los sistemas fotovoltaicos centralizados, e interesante desde el punto de vista económico, es que permiten obtener energía a un costo más bajo que el de aquella que se obtiene con sistemas individuales. La disminución de los costos de producción de energía depende de la cantidad de viviendas y de cuan dispersas se encuentren éstas. Cuanto mayor sea el número de viviendas y menor la distancia entre ellas, menor será el costo de la energía.

- Menor impacto ambiental:

Otra ventaja de los sistemas centralizados es su bajo impacto ambiental. No existe la posibilidad de la contaminación producida por el abandono de baterías usadas con poca capacidad dado que la energía se acumula en un banco central de baterías de larga vida útil.

- Distribución centralizada:

La desventaja más importante de los sistemas centralizados es la distribución equitativa de la energía entre la comunidad. La distribución centralizada requiere de la instalación de medidores de energía en cada vivienda. Esto normalmente no se hace debido al considerable incremento de costos que implica. Por lo tanto, siempre existirían problemas ocasionados por algunos usuarios que abusan de la disponibilidad de energía del sistema y de la falta de información que permita cobrar a cada familia, según su consumo energético.

1.2.5. Sistemas centralizados conectados a la red.

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red son una alternativa prometedora en el futuro de las energías renovables. En estos sistemas, la energía obtenida no se almacena sino que se provee directamente a la red eléctrica comercial. Esto implica por una parte que el banco de baterías ya no es necesario y, por otra, que

se necesita de un equipo especial para adaptar la energía producida por los paneles a la energía de la red. Este tipo de sistemas provee energía eléctrica a núcleos urbanos que ya cuentan con una red de distribución de energía. Las aplicaciones inmediatas son la venta de energía eléctrica o la reducción de la facturación mensual. Esta es una posibilidad muy interesante para inversiones privadas en el sector de energía limpia.

El uso de esta tecnología es reciente, pero existen experiencias interesantes en España y Alemania que permiten suponer un desarrollo rápido de estos sistemas. Parece ser que la tecnología ha alcanzado un nivel de madurez aceptable; sin embargo, aún falta mucho por hacer en cuanto a la legislación que permita la venta de energía fotovoltaica de pequeños usuarios privados a empresas distribuidoras de energía convencional.

1.3. Ventajas y desventajas.

Los sistemas fotovoltaicos han demostrado su capacidad para proveer energía eléctrica a sitios aislados de la red convencional. Sin embargo, la tecnología fotovoltaica no es siempre la solución más adecuada a todos los problemas de electrificación rural de nuestros países. Dependiendo de los casos en particular, la extensión de la red convencional, el empleo de aerogeneradores o el uso de pequeñas centrales hidroeléctricas, pueden ser alternativas válidas. Como regla general, antes de comprar cualquier equipo se debe evaluar detenidamente si éste es la mejor opción o no a un caso particular. Incluso, aún cuando ya se haya decidido utilizar la opción fotovoltaica, el tipo de sistemas que se instalará (CD, CA o Centralizado) es una decisión muy importante que se debe tomar a partir de las necesidades energéticas actuales y futuras, además de la disponibilidad económica.

A continuación se mencionarán las ventajas y desventajas que los sistemas fotovoltaicos presentan en la región.

Ventajas:

- El área del Caribe dispone de abundante radiación solar.
- La tecnología fotovoltaica permite soluciones modulares y autónomas.
- La operación de los sistemas fotovoltaicos es amigable con el medio ambiente.
- Los sistemas tienen una vida útil larga (más de 20 años).
- Los sistemas fotovoltaicos han experimentado una reducción de precios que los hace más accesibles para las poblaciones rurales y se espera que sigan bajando.
- La tecnología de equipos y sistemas fotovoltaicos ha alcanzado un grado de madurez que posibilita su utilización para resolver confiablemente los problemas energéticos de nuestros países.
- La instalación de los sistemas fotovoltaicos individuales es simple, rápida y sólo requiere de herramientas y equipos de medición básicos.

Desventajas:

- La inversión inicial es alta con respecto a la capacidad de pago de una gran mayoría de las familias rurales.
- La cantidad de energía producida es limitada y alcanza solamente para las necesidades básicas de electricidad.
- La disponibilidad de energía es variable y depende de las condiciones atmosféricas.

1.4. Conclusiones del capítulo.

Como se ha podido constatar los sistemas fotovoltaicos son una solución fiable ante los problemas energéticos de muchas regiones, actualmente se sigue investigando en el tema con el objetivo de lograr una mayor eficiencia de estos sistemas, es por ello que este trabajo investigativo se centra en los sistemas centralizados, desarrollando un producto que logre una distribución equitativa de la energía producida y alargue la vida útil de estos sistemas.

Diseño del dispensador de energía.

Introducción.

El diseño del dispensador de energía comprende el desarrollo de todas las partes que componen el equipo, con un diseño modular, eficiente, fiable, factible de ser producido masivamente y con la calidad requerida según los requerimientos técnicos del dispensador de energía, este objetivo implica efectuar las tareas siguientes:

1. El diseño del hardware del dispensador de energía, para lo cual es necesario desarrollar el circuito eléctrico para el funcionamiento de la interfaz electrónica principal del controlador.
2. El diseño del hardware para la comunicación óptica de la interfaz electrónica con la PC.
3. La construcción del controlador, instalación, puesta a punto y evaluación de éste, lo cual requiere el diseño de los circuitos impresos de todos los dispositivos que lo forman y la interconexión de estos.
4. El desarrollo, puesta a punto y evaluación del software para el microcontrolador.
5. El desarrollo, puesta a punto y evaluación del software residente en la PC para el monitoreo del dispensador de energía.

2.1. Requerimientos técnicos para el diseño del dispensador de energía.

La solicitud presentada para el diseño del dispensador de energía incluye la tarea técnica que es el punto de partida del diseño, que establece un conjunto de requerimientos técnicos a cumplir, y acota el alcance de la investigación al nivel de la fabricación del prototipo, la evaluación y la validación de éste mediante pruebas de campo.

El dispensador de energía, como su nombre lo indica, controla el consumo de energía de los usuarios de un sistema fotovoltaico centralizado, para lo cual se

requiere medir, indicar y controlar los parámetros de voltaje, corriente, potencia y consumo, manteniendo el equipamiento tecnológico del sistema fotovoltaico en un régimen de trabajo adecuado, sin descuidar la satisfacción de los usuarios de dicho sistema.

2.2. Principio de funcionamiento del dispensador de energía.

Una vez instalado correctamente el dispensador de energía en la casa del usuario, se utiliza el software AnMET residente en la PC (laptop), para asignarle la cuota de energía diaria que puede consumir dicho usuario, la cual se calcula en dependencia a las características del sistema fotovoltaico y a la cantidad de usuarios instalados al mismo, a partir de ese valor de energía diaria a consumir almacenado en la memoria EEPROM del controlador, este empieza a descontar dicho valor según el consumo del usuario, una vez que llega a cero, el controlador desconecta la salida, es decir se desconecta la casa de la red, una vez pasado 24 horas automáticamente se vuelve a recargar la cuota asignada y se restablecer la salida, es decir la casa vuelve a conectarse a la red.

Para esto se utiliza un microcontrolador PIC18F252, que realiza las siguientes funciones:

- Visualizar en la primera línea del display LCD el valor de energía que le va quedando al usuario, así como el tiempo que falta para la recarga. En la segunda línea visualizar en tiempo real, rotativamente cada 8 segundos los valores de voltaje, corriente, potencia aparente en VA, potencia activa en Watt, factor de potencia y el valor de cuota asignado.
- Almacenar estadísticas máximas de los parámetros antes mencionados.
- Transmitir hacia la PC las estadísticas almacenadas, utilizando la comunicación óptica.
- Recepcionar paquetes desde la PC, utilizando la comunicación óptica.
- Desconectar la salida una vez consumida la cuota de energía asignada.
- Recargar la cuota de energía asignada y reconectar la salida pasado 24 horas.

2.3. Hardware del dispensador de energía.

Para efectuar el diseño del hardware del dispensador de energía, éste se ha dividido en secciones a desarrollar, a continuación en la figura 2.1 se presenta un diagrama en bloques del diseño del dispensador de energía.

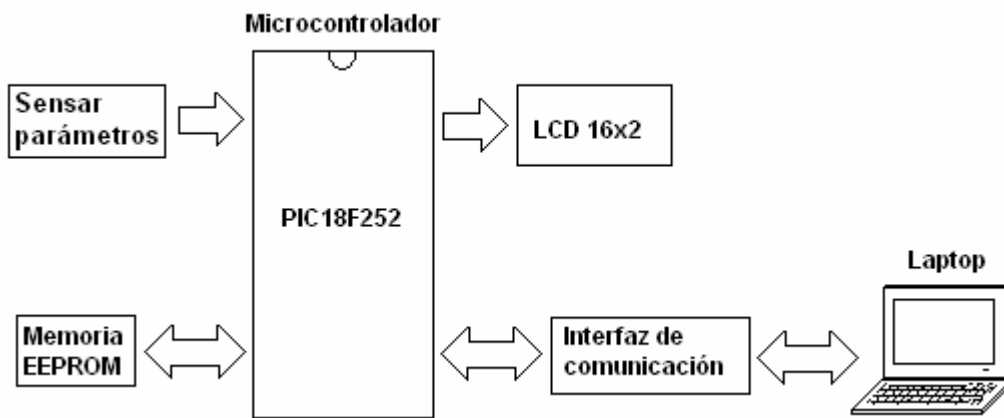


Fig. 2.1. Diagrama en bloques del diseño del dispensador de energía.

El dispensador de energía incluye las funciones de:

- MEDIR los parámetros de control en el rango y la exactitud pedida.
- INDICAR digitalmente la lectura de la medición.
- PROCESAR las lecturas de las mediciones.
- PROGRAMAR los valores de los parámetros de control.
- ALMACENAR en una memoria externa las estadísticas de los parámetros.
- CONTROLAR el actuador.
- COMUNICACIÓN con la PC por medio físico óptico.

Para desarrollar las partes electrónicas del dispensador de energía para que cumpla estas prestaciones técnicas, se presenta la descripción del diseño del hardware del sistema, dividido en los siguientes bloques:

- La interfaz electrónica del controlador y sus componentes electrónicos.
- La comunicación con la PC.

2.3.1. Diseño del circuito eléctrico. Principales componentes

La evolución de los dispositivos electrónicos desde la aparición del circuito integrado está en constante avance tecnológico, caracterizado por el aumento de la complejidad funcional, de la velocidad de trabajo, de la integración de componentes en el chip, por la diversidad de las aplicaciones y la mejora de sus características técnicas, una de las más elevadas expresiones de este desarrollo acelerado de los componentes electrónicos son los circuitos microcontroladores.

Un microcontrolador es un dispositivo electrónico encapsulado en un chip, capaz de ejecutar un programa de instrucciones almacenado en su memoria ROM, el cual puede ser reprogramado según cada aplicación deseada. El microcontrolador incluye los siguientes recursos internos: unidad lógica y aritmética, unidad de procesamiento central (para ejecutar el conjunto de instrucciones del microcontrolador), memoria de programa (ROM), la memoria de datos (RAM y del tipo EEPROM) y los puertos de entrada/salida. Además, también disponen de otras estructuras funcionales con características especiales como: interfaces para la comunicación externa, comparadores analógicos, convertidores analógico-digitales con entradas multiplexadas, temporizadores, contadores, entre otros recursos [MIC_07].

En el mercado existe gran variedad de empresas que fabrican microcontroladores con características técnicas distintivas, por ello la selección del uso de estos depende de la aplicación a realizar. Entre estos se encuentra la familia de microcontroladores PIC desarrollada por la empresa Microchip, la cual posee tres tipos de gamas de microcontroladores PIC para facilitar el diseño de aplicaciones con diferentes grados de complejidad, con distintos tipos y cantidades de recursos internos, con cápsulas exteriores de los tipos (8DIP, 12DIP, 14DIP, 16DIP, 18DIP, 20DIP, 40DIP, cápsulas cerámicas SOIC y cápsula SMD para el montaje superficial) y con diferentes costos. Estas gamas son: microcontroladores de gama baja con las series PIC10Fxxx y PIC12Fxxx), la gama media con la serie PIC16Fxxx y la gama alta con la serie PIC18Fxxx,

también los del tipo rf PIC para la comunicación inalámbrica y PIC del tipo DSP para el procesamiento digital de señales.

Es posible seleccionar el chip que mejor satisface las necesidades del diseño teniendo en cuenta el tipo y capacidad de las memorias, el número de líneas de puerto y las funciones auxiliares que se precisan, pero todos los microcontroladores de esta familia tienen en común: su arquitectura interna, el conjunto de instrucciones compatibles, los rangos de frecuencia de trabajo de hasta 80 MHz, el bajo consumo de potencia y un voltaje de alimentación de 5 V. Todas estas características técnicas los hacen idóneos para ser empleados en el diseño de equipos electrónicos, sistemas automáticos de adquisición de datos, procesamiento y control y en otras interfaces electrónicas. Entre la gama alta de los microcontroladores PIC de la empresa Microchip, se encuentra la familia PIC18Fx52 y uno de sus mejores exponentes es el circuito PIC18F252, el cual cuenta con las características técnicas y los recursos de hardware necesarios para el diseño de esta aplicación, las que se resumen en la siguiente tabla [MIC_07].

Tabla 2.1. Características técnicas del PIC18F252.

Features	PIC18F242	PIC18F252	PIC18F442	PIC18F452
Operating Frequency	DC - 40 MHz	DC - 40 MHz	DC - 40 MHz	DC - 40 MHz
Program Memory (Bytes)	16K	32K	16K	32K
Program Memory (Instructions)	8192	16384	8192	16384
Data Memory (Bytes)	768	1536	768	1536
Data EEPROM Memory (Bytes)	256	256	256	256
Interrupt Sources	17	17	18	18
I/O Ports	Ports A, B, C	Ports A, B, C	Ports A, B, C, D, E	Ports A, B, C, D, E
Timers	4	4	4	4
Capture/Compare/PWM Modules	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, Addressable USART	MSSP, Addressable USART	MSSP, Addressable USART	MSSP, Addressable USART
Parallel Communications	—	—	PSP	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	5 input channels	8 input channels	8 input channels
RESETS (and Delays)	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST)	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST)	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST)	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST)
Programmable Low Voltage Detect	Yes	Yes	Yes	Yes
Programmable Brown-out Reset	Yes	Yes	Yes	Yes
Instruction Set	75 Instructions	75 Instructions	75 Instructions	75 Instructions
Packages	28-pin DIP 28-pin SOIC	28-pin DIP 28-pin SOIC	40-pin DIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP	40-pin DIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP

Otras características técnicas del microcontrolador PIC18F252 son:

- La frecuencia de trabajo es de hasta 40 MHz.
- Posee 4 temporizadores: el timer 0 es configurable para 8 bits con escalado programable, los timer 1 y timer 2 poseen 16 bits y 8 bits respectivamente con uso configurable por programa.
- Permite las interfaces de comunicación: Puerto serie SPI (de 3 hilos en 4 modos), Bus I2C (2 hilos en modo master y esclavo) y el puerto de salida con el protocolo RS232.
- El conversor análogo digital tiene 10 bits de salida y puede multiplexar 5 entradas analógicas.

En el diseño de la interfaz electrónica se requiere un microcontrolador PIC18F252. A continuación se presenta la conexión del circuito eléctrico del PIC, que controla:

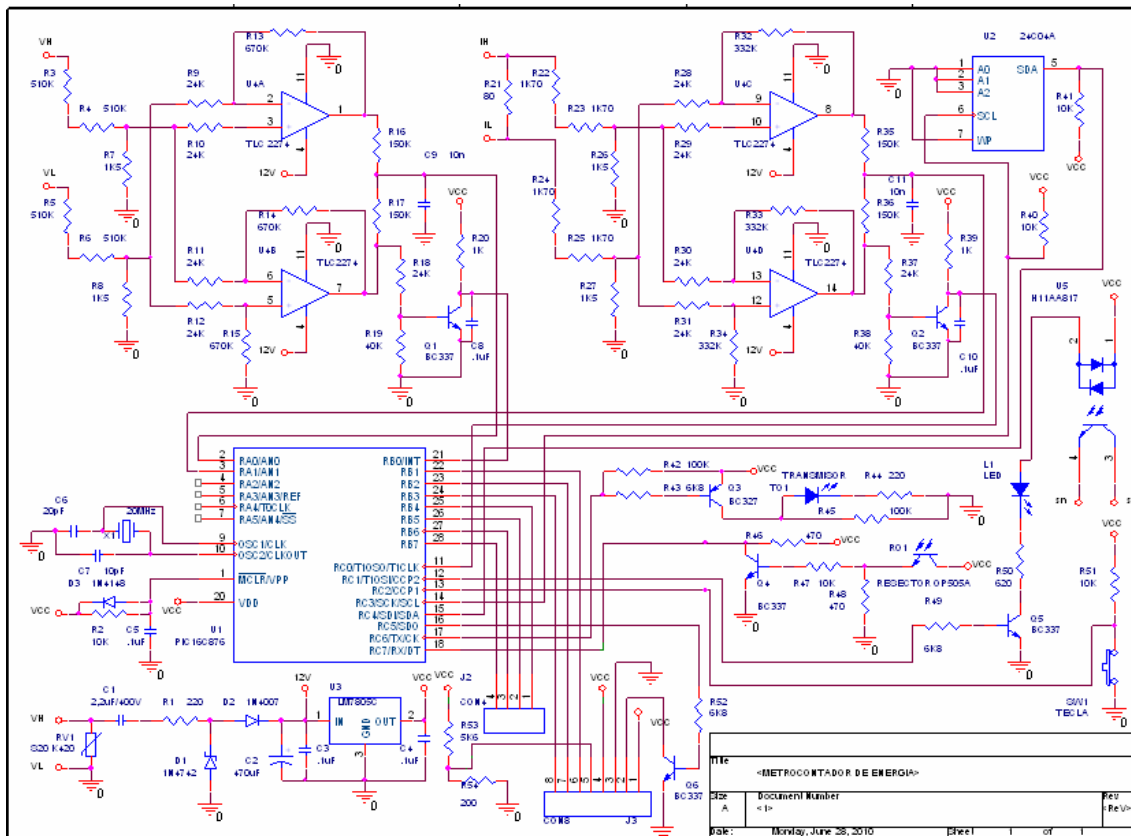


Fig. 2.2. Diseño de la interfaz electrónica del dispensador de energía.

- El indicador alfanumérico LCD operando en el modo de trabajo de 4 dígitos, lo cual requiere 4 líneas del puerto B para enviar la palabra digital del dato a indicar y 3 líneas del puerto B para las señales de control del LCD, que son: E, RS y R/W.
- La línea RB0, se utiliza como interrupción externa para lograr la sincronización con la red eléctrica, y de esta forma el dispensador de energía puede trabajar lo mismo a 50 Hz que a 60 Hz.
- Se conectan al puerto C los siguientes elementos: En las líneas C3 y C4 el bus I2C que contiene la EEPROM 24C04. Las líneas C6 y C7 son para conectar los componentes de la comunicación con la PC. En la línea C2 se conecto un switch digital 74H1G66, para lograr medir con precisión tanto corrientes grandes en el orden de los Amperes, como las corrientes pequeñas en el orden de los mA.

- Las líneas RA0 y RA1 se utilizan como entradas análogo digitales (A/D) con una salida de 10 bits, para sensar voltaje y corriente, a ellas se conectan las etapas de acondicionamiento de las señales, provenientes de la salida del operacional TLC2274.

La memoria del tipo EEPROM empleada es la 24C04 (Fig. 2.3). Tiene una estructura interna para almacenar 512 Bytes (4 K) y opera con un rango de alimentación desde 3 V a 5,5 V y está diseñada para conectarse al bus I2C. A continuación se muestra la distribución de terminales del componente:

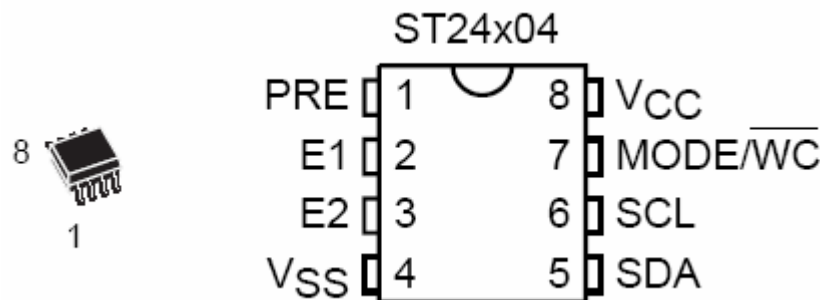


Fig. 2.3. Encapsulado de la memoria EEPROM 24C04.

Para su direccionamiento se requiere el siguiente protocolo (Fig. 2.4) con la secuencia de palabras que permiten: identificar el dispositivo con un código, seleccionarlo o habilitarlo. Seleccionar el bloque de la memoria sobre el cual se va a realizar la operación, ordenar el tipo de operación escritura o lectura a realizar. Posteriormente se envía 1 bytes para direccionar la localización interna donde se va a operar.

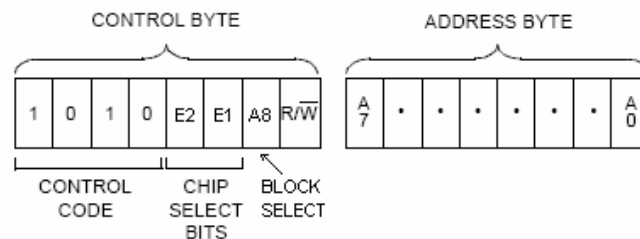


Fig. 2.4. Secuencia de palabras, protocolo de comunicación con la EEPROM.

Este dispositivo presenta cuatro modos de trabajo, que se relacionan:

1. La escritura de datos individuales dada una dirección, cuyo protocolo se muestra a continuación en la Fig. 2.5:

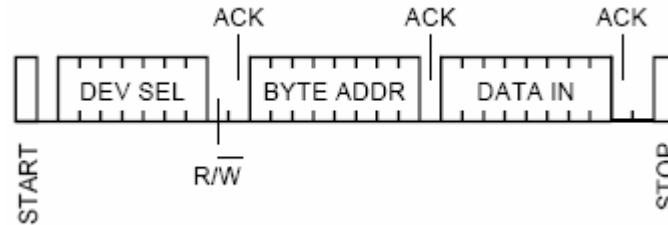


Fig. 2.5. Escritura de datos individuales.

2. La escritura de bloques de 8 bytes de datos dada la dirección de inicio del bloque, cuya secuencia se muestra a continuación en la Fig. 2.6:

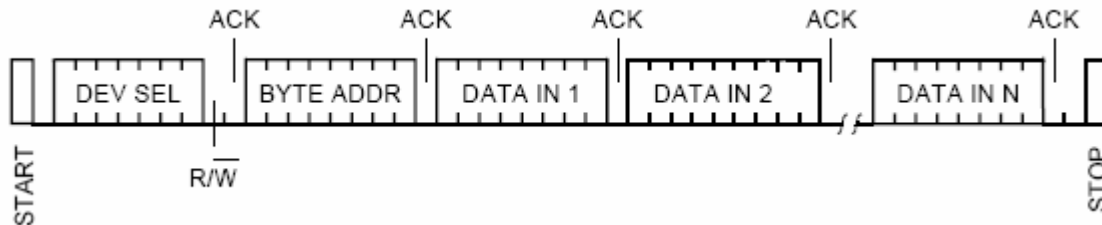


Fig. 2.6. Escritura en bloques de 8 bytes.

3. La lectura del dato almacenado en una dirección dada, según el protocolo de la Fig. 2.7:

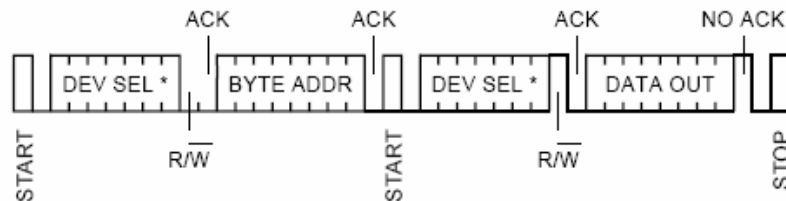


Fig. 2.7. Lectura del dato en una dirección dada.

4. La lectura de bloques de datos secuenciales, dada la dirección de inicio y opera según la secuencia siguiente en la Fig. 2.8:

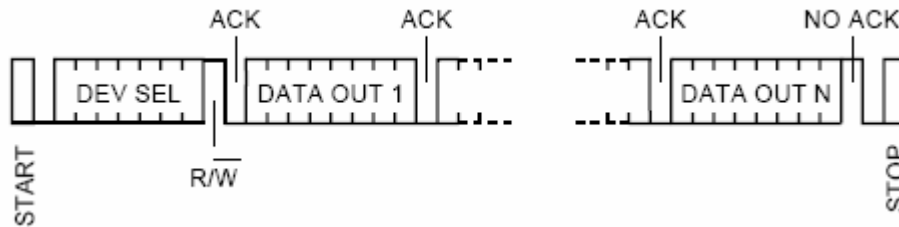
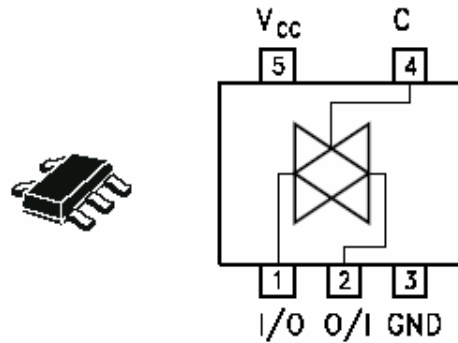


Fig. 2.8. Lectura de bloques de datos secuenciales.

Para la operación con este componente es necesario desarrollar rutinas en el programa del PIC, para leer y escribir en la EEPROM de forma aleatoria o en bloques de datos. También es necesario realizar la programación previa de esta con los valores de cada variable con un programa programado desde el PIC para este fin.

Para lograr sensar corrientes desde 40 mA hasta 40 A, como se especifica en los requerimientos técnicos del controlador, se utiliza un switch digital 74H1G66 (Fig. 2.9), para mantener la linealidad de la señal de entrada al conversor A/D del microcontrolador. El switch está controlado por el microcontrolador, cuando el valor de corriente leído se encuentra dentro del rango de 40 mA hasta 3 A se conmuta el switch para conectar a la salida del transformador de sensado una resistencia de carga de 10 k Ω , con la cual se amplifica la señal de entrada al A/D y permite medir con más exactitud las corrientes pequeñas. Cuando el valor de corriente leído supera los 3 A, entonces se conmuta el switch para conectar una resistencia de 240 Ω , de esta forma se atenúa la señal de entrada al A/D del microcontrolador, y permite leer valores de corrientes más grandes. De esta forma se divide en dos rangos el acondicionamiento de la señal de corriente.



PIN No	SYMBOL	NAME AND FUNCTION
1	I/O	Independent Input/Output
2	O/I	Independent Output/Input
3	GND	Ground (0V)
4	C	Enable Input (Active HIGH)
5	V _{CC}	Positive Supply Voltage

Fig. 2.9. Encapsulado y descripción de pines del switch digital 74H1G66.

El 74H1G66 es un switch bilateral fabricado con compuertas de silicio usando tecnología CMOS, de alta velocidad de conmutación y muy bajo consumo. La entrada C se utiliza para controlar el switch, el switch se activa cuando la entrada C tiene un nivel alto y se desactiva cuando la entrada C tiene un nivel bajo. Todas las entradas como las salidas poseen protección ante exceso de voltaje.

El dispensador de energía posee dos circuitos de sensado, uno de voltaje y uno de corriente (Fig. 2.11). Para sensar corriente se usa un transformador de corriente, lo cual lo hace más eficiente, ya que elimina las pérdidas por calentamiento que habría si se usa una resistencia de Shunt, que es el otro método para sensar corriente. Ambos circuitos de sensado usan un circuito operacional TLC2274 (Fig. 2.10) el cual posee 4 amplificadores operacionales de bajo ruido y bajo voltaje de offset de salida inferior a 950 μ V. Con este circuito operacional se acondiciona la señal para la entrada de A/D del microcontrolador PIC.

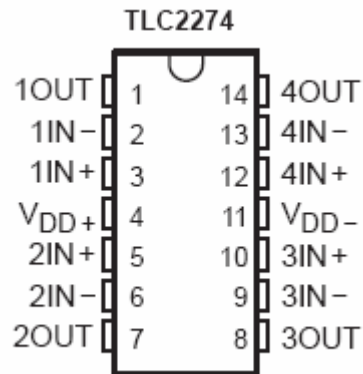


Fig. 2.10. Descripción de pines del operacional TLC2274.

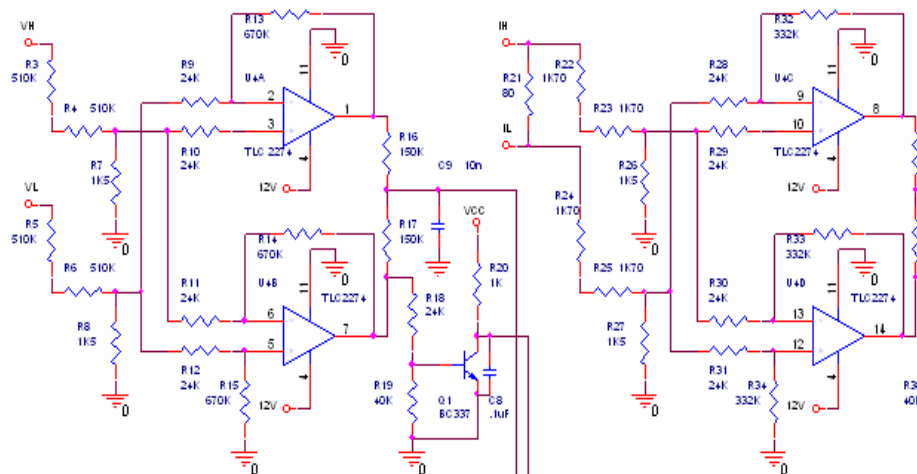


Fig. 2.11. Esquema de los circuitos de sensado.

Para leer la señal de voltaje de la red, se usan dos operacionales en una configuración de atenuador y rectificador de onda completa. La señal del voltaje de línea es atenuada con un divisor de voltaje, y donde cada operacional acondiciona un semiciclo de la señal al rango de trabajo necesario para ser leídos por el A/D del microcontrolador, en dependencia de los valores de resistencia de realimentación conectada. Después se unen las salidas de los

dos amplificadores logrado una rectificación de onda completa proporcional a la señal de entrada.

Para el acondicionamiento de la señal de voltaje proveniente de la salida del transformador, proporcional a la de corriente de la carga conectada, se realiza un circuito similar al de lectura del voltaje de línea, o sea, dos operacionales en la configuración de rectificación de onda completa pero esta señal no es necesario atenuarla, sino amplificarla, por lo que no poseen las mismas resistencias que determinan la ganancia en esta configuración.

Para lograr la sincronización con la línea, se conectó un transistor *NPN* a la salida de uno de los operacionales en configuración de emisor común, donde se ve a su salida un pulso cuadrado cada semiciclo, donde la subida de cada pulso coincide con el cruce por cero de cada ciclo, esta salida es conectada al pin de interrupción externa del microcontrolador.

Después de realizar un estudio de las configuraciones de fuentes de alimentación que existen, y después de calcular el consumo máximo que tendrán todos los componentes que integran el hardware del dispensador de energía, se decidió que la mejor variante era usar una fuente capacitiva para la alimentación del circuito, ya que es muy estable para pequeños niveles de potencia, y siempre será mucho mas barata y menos pesada que una fuente conmutada o de otro tipo.

La fuente posee en su entrada un varistor entre vivo y neutro de la línea, que protege al controlador contra las descargas eléctricas y los picos de voltajes por encima del nivel máximo del voltaje de trabajo.

Esta fuente posee un capacitor, el cual se calculó teniendo en cuenta la R_c del mismo y una resistencia en serie entre el vivo de la línea y la carga para provocar una caída de voltaje, para el cálculo del valor del condensador y la

resistencia se tiene en cuenta la potencia total que alimentará esa carga y se estabiliza el voltaje con un diodo zener de 12 V, que es el que alimenta una parte del circuito, después se usa un regulador lineal LM7805 para alimentar los componentes que trabajen con 5 V, a pesar de que los reguladores lineales no son los mas eficientes, se escogió este por un problema de costo y el bajo consumo de los elementos a alimentar. Todo esto se observa en el circuito de la figura 2.12.

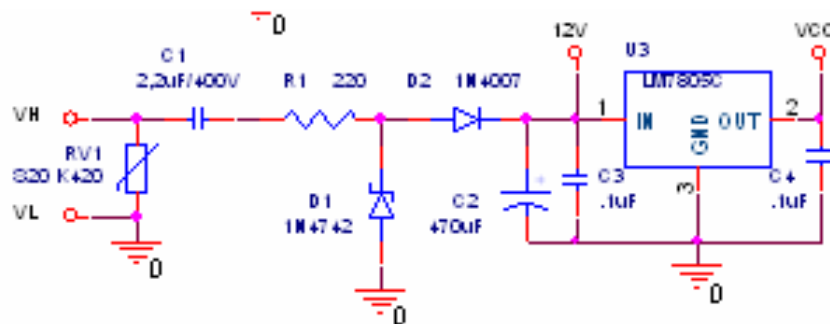


Fig. 2.12. Esquema de la fuente capacitiva del dispensador de energía.

Para lograr la desconexión de la carga se diseñó una interfaz de control, la cual se controla usando el pin 7 del microcontrolador, y esta compuesta por un transistor *BC337* y un relé, de esta forma se logra gobernar el magnético que desconecta la carga del usuario, figura 2.13.

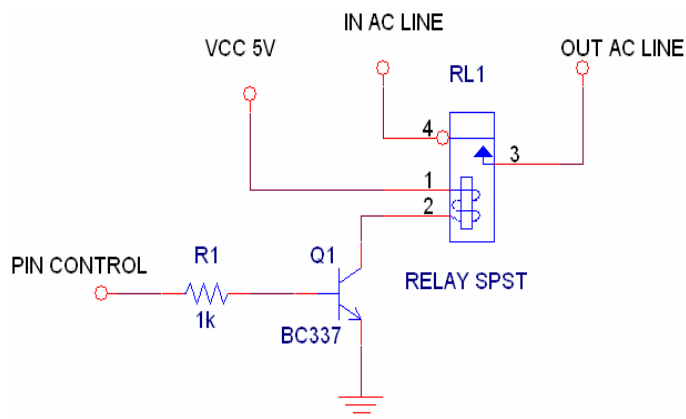


Fig. 2.13. Esquema de la interfaz de desconexión.

2.3.2. Diseño del circuito y funcionamiento de la comunicación con la PC.

Debido a que la interfaz RS232 es factible de obtener directamente de las líneas de puerto C del microcontrolador PIC18F252, se desarrollo una interfaz electrónica para obtener la comunicación óptica con la PC, la cual consiste en dos circuitos uno para transmitir y el otro para recibir la información.

El esquema del circuito de transmisión (Fig. 2.14) consiste en conectar la salida del pin de transmisión del microcontrolador a la base de un transistor *BC327* que posee su emisor a 5 V de alimentación y en su colector un transmisor óptico, con esto se logra los niveles de corrientes necesarios y una polarización óptica para un buen funcionamiento del transmisor óptico.

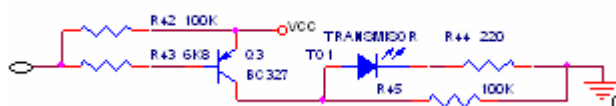


Fig. 2.14. Esquema del circuito de transmisión.

En el caso del circuito receptor (Fig. 2.15) cuando los pulsos de luz que capte cumplan con los niveles que se determinan en el diseño, entonces conduce un voltaje hacia la base de un transistor *BC337* que acondiciona la señal a los niveles necesarios para el pin de recepción de la comunicación RS232 que posee el microcontrolador.

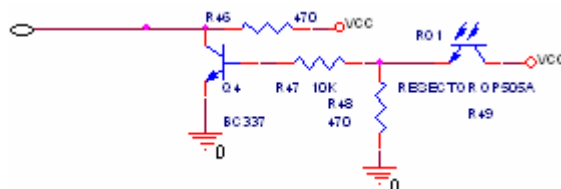


Fig. 2.15. Esquema del circuito receptor.

Para cerrar el ciclo de la comunicación, es decir para poder conectar el dispensador de energía a la PC, se diseñó y construyó una interfaz de comunicación la cual consiste en un cable con un conector DB9 hembra en un extremo y en el otro una tarjeta electrónica con el transmisor y receptor óptico. Esta interfaz se conecta en el puerto serie de la PC, y se fija a la tapa del dispensador de energía mediante un imán que atrae la arandela metálica que tiene la tapa del controlador, para una mayor comprensión de lo descrito remítase al capítulo 3 Fig. 3.12, Fig. 3.13 y Fig. 3.14.

La tarjeta electrónica consiste en un circuito integrado MAX232 que convierte los niveles de voltaje TTL (de 0 a 5 V) a los niveles de voltaje necesarios para una comunicación serie RS232 (de -12 V a 12 V), la alimentación de este circuito la provee el mismo puerto serie de la PC, para ello se usa el pin 4 (Data Set) del conector DB9 y se estabiliza usando un regulador lineal LM7805. El esquema del circuito sería el siguiente:

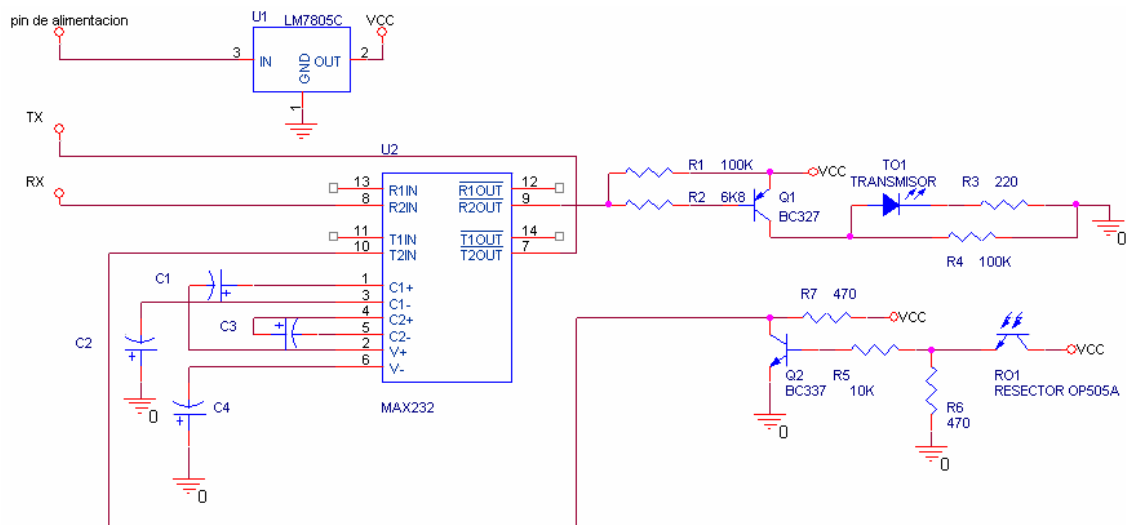


Fig. 2.16. Esquema eléctrico de la interfaz de comunicación.

En el conector DB9 de la PC se usan los pines

- **Pin 2 (RX):** Para la recepción de los datos.
- **PIN 3 (TX):** Para la transmisión de los datos.

- **Pin 4 (Data Set):** Para la alimentación del circuito eléctrico.
- **Pin 5 (GND):** Para conectar la tierra del circuito eléctrico.

2.4. Implementación de los softwares para el dispensador de energía.

Se implementaron dos software para el dispensador de energía, el software principal residente en el microcontrolador, el cual realiza las siguientes funciones:

1. Control del indicador LCD, visualizar datos y mensajes.
2. Lectura y escritura de datos en la memoria EEPROM.
3. Transmisión de los datos desde el microcontrolador a la PC.
4. Recepción de un buffer en la interfaz PIC en el modo programación desde PC.
5. Operación sobre el conmutador de salida.
6. Sensar los parámetros de la línea eléctrica.

Para poder asignarle una cuota de energía diaria a los usuarios del sistema fotovoltaico centralizado, se desarrolló la aplicación AnMET, residente en la PC, con la cual además se lleva el historial estadístico de todos los usuarios del sistema fotovoltaico, dicha aplicación realiza las siguientes funciones:

1. Transmisión de datos hacia el microcontrolador.
2. Recepción de los paquetes de información provenientes del microcontrolador.
3. Guardar en la base de datos de la PC el historial de los usuarios del sistema.
4. Actualizar la información estadística de los usuarios en la base de datos del sistema.

2.4.1. Arquitectura del software del microcontrolador.

El software del microcontrolador esta compuesto por 8 funciones principales:

- **Inicio:** Esta función configura el PIC, es decir que pines van a ser de entrada salida, inicializa todas las variables del programa, configura los timer, la

interrupción externa, entre otras cosas.

- **LeerAD:** Devuelve el valor del A/D, según el conversor seleccionado.
- **Init_buffer:** Limpia el buffer de comunicación para la recepción de los datos.
- **Add_buffer:** Adiciona los caracteres recibidos en el buffer de comunicación, para su posterior procesamiento.
- **Write_Energía:** Guarda en la memoria EEPROM el valor de la cuota de energía asignada.
- **Read_Energía:** Devuelve el valor de la energía asignada almacenado en la memoria EEPROM.
- **Tx_buffer:** Transmite hacia la PC los paquetes de información solicitados.
- **Init_bufer_send:** Limpia el buffer de envío.

Por otra parte se hace uso de las interrupciones del PIC, como son la interrupción externa que se usa para hacer todo el proceso de medición de los parámetros de corriente y voltaje de la línea, esto permite que el dispensador de energía sea multi frecuencia, ya que esta sincronizado con la línea eléctrica.

2.4.2. Detalles de la implementación del software del microcontrolador.

Se muestra a continuación una sucesión de apartados que describirán uno tras otro las distintas facetas de la implementación del programa del microcontrolador, haciendo especial énfasis en los bloques de comunicación.

2.4.2.1. Formato de la trama de comunicación.

El formato de la trama utilizada en el proceso de comunicación con la PC es el siguiente:

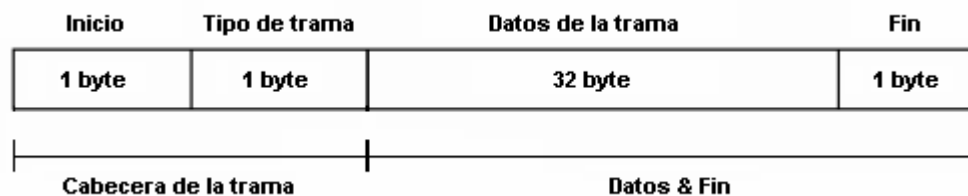


Fig. 2.17. Formato de la trama utilizada en la comunicación.

2.4.2.2. Recepción de los datos enviados desde la PC.

En este apartado se describirán los pasos necesarios para lograr la recepción de datos a través de la interfaz de comunicación. Se debe aclarar que solo se explicaran las líneas del código de mayor relevancia para el entendimiento del mismo, y solo se comentarán las otras líneas ya que son de muy fácil entendimiento.

En el caso de la recepción de los datos lo primero que se hace es crear un espacio en memoria para el buffer, ya que en este se van a almacenar todos los datos recibidos, para ello se crean las variables

```
int const lengthBuffer = 4;
char rcvchar;
char buffer[lengthBuffer];
```

Para la recepción de los datos se utiliza la interrupción int_RDA, la cual viene configurada para el hardware interno que posee el microcontrolador, haciendo uso de la función kbhit() comprobamos que se haya capturado un dato en el registro de recepción del microcontrolador, seguidamente usando la función Add_buffer() se adiciona al buffer de recepción, para su posterior procesamiento.

```
#int_RDA
void RDA_isr()
{
    rcvchar=0x00;
    if(kbhit())
    {
        rcvchar=getc();
        Add_buffer(rcvchar);
    }
}

//...Adiciono un caracter al buffer
void Add_buffer(char c)
{
    //Proceso la informacion recibida y la guardo
    switch(c)
    {
        case 0x73: flag_stop_menu = 1;
                  texto = 4;
                  break;

        case 0x2A: flag_end_rx = 1;
                  break;

        default:   buffer[xbuff++] = c;
                  break;
    }
}
```

Dentro de la función main() se procesa la información contenida en el buffer de recepción, en dependencia del tipo de trama recibida se procede a realizar la acción correspondiente, que puede ser: enviar el código del equipo, salvar la cuota de energía asignada, enviar los parámetros estadísticos.

```
//Proceso la informacion recibida
if(flag_end_rx == 1)
{
    switch (buffer[0])
    {
        case 0x6E: //Envio el codigo
            itoa(num,10, bufer_send);
            printf("%s\r\n",bufer_send);
            Init_buffer(); //inicializo el buffer de recepcion de nuevo
            texto = 7;
            tiempo = 40; //vuelvo al menu inicial
            flag_stop_menu = 0;
            flag_end_rx = 0; //quito la bandera de recepcion
            break;

        case 0x65: Write_Energia(buffer[1], buffer[2], buffer[3]); //Salvo la energia asignada
            Init_buffer(); //inicializo el buffer de recepcion de nuevo
            texto = 7;
            tiempo = 40; //vuelvo al menu inicial
            flag_stop_menu = 0;
            flag_NEU_energia = 1;
            flag_end_rx = 0; //quito la bandera de recepcion
            break;

        case 0x7D: //Envio los parametros
            flag_start_TX = 1;
            break;

        default: //texto = 0;
            break;
    }
}
```

2.4.2.3. Transmisión de datos hacia la PC.

Para la transmisión de datos, se crea un espacio en memoria para el buffer de transmisión, el cual contendrá los datos a enviar hacia la PC, para ello se crean las variables

```
char bufer_send[10];
char separador = 0x5F;
char end_send = 0x24;
```

Dentro del bloque de procesamiento de las tramas recibidas, ver código del epígrafe anterior, una vez que se recibe la trama donde se solicita el envío de los parámetros estadísticos, se habilita la bandera **flag_start_TX**

```

case 0x70: //Envio los parametros
{
    flag_start_TX = 1;
    break;
}

```

Dentro de la función main() se realiza la llamada a la función **Tx_buffer()** que es la encargada de realizar el proceso de enviar la información.

```

if(flag_start_TX == 1)
{
    Tx_buffer();
}

```

Para la transmisión de los parámetros estadísticos se hace uso de la función **itoa()** la cual copia en el buffer de transmisión el valor del parámetro que se desea enviar, una vez lleno el buffer de transmisión con el dato deseado, se procede a su transmisión utilizando la función **printf()** la cual envía una cadena de caracteres por la salida RS232 configurada.

```

//...Transmito todo los parametros
void Tx_buffer(void)
{
    switch (index)
    {
        case 0x00: itoa(num,10, bufer_send); //energia
                   printf("%s\r\n",bufer_send);
                   texto = 6;
                   index = 1;
                   break;

        case 0x01: printf("%c", separador);
                   texto = 6;
                   index = 2;
                   break;

        case 0x02: itoa(num,10, bufer_send); //voltaje
                   printf("%s\r\n",bufer_send);
                   texto = 6;
                   index = 3;
                   break;

        ...

        ...

        ...

        case 0x08: printf("%c", end_send); //Fin de envio
                   flag_end_rx = 0; //quito la bandera de recepcion
                   Init_buffer(); //inicializo el buffer de recepcion de nuevo
                   texto = 7;
                   tiempo = 40; //vuelvo al menu inicial
                   flag_stop_menu = 0;
                   index = 0;
                   Init_bufer_send(); //limpio el bufer de Tx
                   flag_start_TX = 0;
                   break;
    }
}

```

2.4.3. Módulos del software del microcontrolador.

El software del microcontrolador consta de dos módulos o ficheros: Un primer fichero llamado *soft_control.c* en el cual se implementan todas las funciones que hacen posible la interacción con el hardware del dispensador de energía, y un segundo módulo denominado *soft_control.h* el cual contiene los fusibles para la programación del microcontrolador, la configuración del puerto RS232, la configuración del conversor A/D y la selección del cuarzo.

- **soft_control.c:** Interfaz con el hardware.
- **soft_control.h:** Configuración de parámetros.

Para un mayor entendimiento de estos módulos o ficheros pasaremos a realizar una descripción mas detallada de las partes más significativas de cada uno.

2.4.3.1. soft_control.h

Contiene los parámetros utilizados para la configuración del microcontrolador.

Estos parámetros están definidos como directivas al preprocesador.

```
#include <18F252.h>      //Microcontrolador que se va a utilizar
#define adc=10           //Configura el conversor A/D a 10 bit de salida

//Fusibles utilizados para la programacion del PIC
#define FUSES NOWDT      //No Watch Dog Timer
#define FUSES WDT128     //Watch Dog Timer uses 1:128 Postscale
#define FUSES HS         //High speed Osc (> 4mhz)
#define FUSES NOPROTECT  //Code not protected from reading
#define FUSES NOOCSSEN   //Oscillator switching is disabled, main oscillator is source
#define FUSES NOBROWNOUT //Reset when brownout detected
#define FUSES BORV20     //Brownout reset at 2.0V
#define FUSES NOPUT      //No Power Up Timer
#define FUSES NOSTVREN    //Stack full/underflow will cause reset
#define FUSES NODEBUG     //No Debug mode for ICD
#define FUSES NOLVP       //Low Voltage Programming on B3(PIC16) or B5(PIC18)
#define FUSES NOWRT       //Program memory not write protected
#define FUSES NOWRTD      //Data EEPROM not write protected
#define FUSES NOWRTB      //Boot block not write protected
#define FUSES NOWRTC      //configuration not registers write protected
#define FUSES NOCPD       //No EE protection
#define FUSES NOCPB       //No Boot Block code protection
#define FUSES NOEBTR      //Memory not protected from table reads
#define FUSES NOEBTRB     //Boot block not protected from table reads

#define use_delay(clock=20000000) //Selecciona la frecuencia del cuarzo usado
#define byte PORTA = 0xF80        //Especifica la localizacion de los puertos
#define byte PORTB = 0xF81
#define byte PORTC = 0xF82
//Configura la comunicacion serie para 9600 baudios, sin paridad
//datos de 8 bits, y los pines de TX y RX
#define use_rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8)
```

2.4.3.2. soft_control.c

En este fichero es donde se definen e implementan las funciones que interactúan con el hardware del dispensador de energía, se explicaran solo las líneas de mayor relevancia.

Se implementó una función **Inicio()** dentro de la cual haciendo uso de las funciones que nos brinda el compilador se configura el PIC, es decir se definen las entradas/salidas del microcontrolador, cuales serán analógicas, se configuran los timer y la interrupción externa, se inicializa el LCD y la memoria EEPROM, además se inicializan las variables y banderas usadas en el programa.

```
//Inicio
void Inicio(void)
{
    setup_adc_ports(ANO_AN1_AN3);
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
    setup_wdt(WDT_OFF);
    setup_spi(FALSE);
    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_256|RTCC_8_bit);
    setup_timer_1(T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_1);
    setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
    setup_timer_3(T3_DISABLED|T3_DIV_BY_1);
    setup_ccp2(CCP_OFF);
    setup_oscillator(OSC_NORMAL);
    ext_int_edge(L_TO_H);
    set_tris_a(0xFF);
    set_tris_b(0x03);
    set_tris_c(0x81);
    enable_interrupts(INT_EXT);
    enable_interrupts(INT_TIMER0);
    enable_interrupts(INT_RDA);
    enable_interrupts(GLOBAL);
    set_timer0(Load_Timer0);
    init_ext_eeprom();           //...inicializo la memoria EEPROM
    lcd_init();                 //...inicializo el LCD
    ...
    ...
    trueRMS = 0.00;
    trueI = 0.00;
    factor_potencia = 0.00;
    potencia_VA = 0.00;
    diferencia_FP = 0.00;
    potencia_W = 0.00;
    sumatoria_final = 0.00;
}
```

Para el proceso de lectura del conversor A/D, se implemento la función **Leer_AD()** la cual devuelve el valor de lectura según el canal A/D seleccionado haciendo uso de la función **read_adc()** que nos brinda el compilador.

```
//Lectura del AD
int LeerAD(unsigned int channel)
{
    int lectura;
    lectura = 0;    //limpio el valor anterior de lectura

    switch(channel)
    {
        case 0: set_adc_channel(0); //...senzar voltaje
                delay_us(5);
                lectura = read_adc();
                return lectura;
                break;

        case 1: set_adc_channel(1); //...senzar corriente
                delay_us(5);
                lectura = read_adc();
                return lectura;
                break;

        default:break;
    }
}
```

Para el sensado de voltaje el dispensador de energía se sincroniza con el cruce por cero de la línea de AC. Cada 140 us se toma una muestra de la señal de voltaje y corriente, cuando llega el próximo pulso de sincronismo por el pin de interrupción externa del PIC, este calcula el ciclo anterior además de realizar las lecturas de ese ciclo, o sea que el controlador siempre calcula el ciclo que terminó al mismo tiempo que hace un muestreo del ciclo en el que está.

Después de haber calculado el voltaje y la corriente en cada ciclo, calcula la potencia aparente en VA. Para calcular la potencia activa en Watts es necesaria la medición del factor de potencia, la cual se hace midiendo el desfase existente entre los picos máximos de voltaje y corriente en cada semiciclo. Una vez calculada la potencia activa instantánea para la carga conectada en ese

semiciclo, entonces se acumula el valor de esa potencia en el tiempo, generando un pulso que depende de la carga conectada, del tiempo y del parámetro que damos como fabricante que es la cantidad de impulsos por kWh, que en nuestro caso es de 360 impulsos por kWh.

De esta forma el acumulado de energía se mide como una modulación de impulsos en el tiempo, los cuales dependen de la carga conectada, es decir a mayor carga mayor frecuencia y viceversa. A través de estos impulsos es que se mide en una mesa de prueba la precisión del dispensador de energía. El controlador lleva el conteo de los pulsos y cada vez que la cantidad de pulsos superan los 360 impulsos se decrementa 1 kWh al valor de energía asignada guardada en la memoria EEPROM, en el display se muestra el valor actualizado.

```
if(flag_desconexion == 0)
{
    sumatoria_final = (sumatoria_final + (0.01 * potencia_W));

    if(sumatoria_final >= 1.00)
    {
        sumatoria_final = sumatoria_final - 1.00;
        flag_desborde = 1;
        led = 1;
        pulsos++;
    }

    if(pulsos == 1) //360 Impulsos x Kwh
    {
        pulsos = 0;
        if(consumo != 0)
        {
            consumo = consumo - 1;
            Write_Consumo(consumo);
        }
        else
        {
            conmutador = 0;
            flag_desconexion = 1;
            flag_stop_menu = 1;
            texto = 5;
        }
    }
}
```

Para guardar y leer el valor de la energía asignada se implementaron las funciones ***Write_Energia()*** y ***Read_Energia()***, con las cuales se guarda y se lee el valor de energía proveniente de la PC, en la memoria EEPROM, haciendo uso de las funciones del compilador que nos permiten interactuar con la memoria EEPROM.

```
void Write_Energia(char hig, char midel, char low)
{
    unsigned int cen, dec, uni;
    cen = 0x00;
    dec = 0x00;
    uni = 0x00;
    temp = 0x00;

    cen = (hig - 48);
    cen *= 10;
    dec = ((midel - 48) & 0x0F);
    temp = cen + dec;
    write_ext_eeprom(9, temp);
    uni = ((low - 48) & 0x0F);
    write_ext_eeprom(10, uni);
}

void Read_Energia(void)
{
    unsigned int aux, val;
    aux = 0x00;
    aux = read_ext_eeprom(9);
    val = read_ext_eeprom(10);
    energia = aux;
    energia *= 10;
    energia += val;
}
```

2.4.4. Programa AnMET para monitorear el dispensador de energía.

Se desarrolló la aplicación AnMET residente en la PC, con la cual se puede monitorear el dispensador de energía, además de llevar el historial de todos los usuarios del sistema fotovoltaico centralizado. La aplicación se desarrolló usando Borland C++ Builder v.6 como entorno de programación, en lenguaje C++, donde se realizan las siguientes acciones:

1. Asignarle la cantidad de energía a consumir por el usuario y adicionarlo a la base de datos del sistema, en caso de ser nuevo. En caso contrario se actualiza el valor de energía a consumir.
2. Eliminar un usuario de la base de datos del sistema.
3. Solicitarle al dispensador de energía todos los parámetros estadísticos almacenados en su memoria EEPROM y guardarlos en la base de datos del usuario, por fecha.
4. Mostrar el historial de cada usuario en el cual se muestran los valores de los parámetros estadísticos organizados por fecha.

2.4.4.1. Descripción de las interfaces.

Una vez instalada la aplicación, se ejecuta con doble click sobre el icon



La aplicación se inicia con una pantalla de presentación mientras se carga la aplicación y la base de datos.

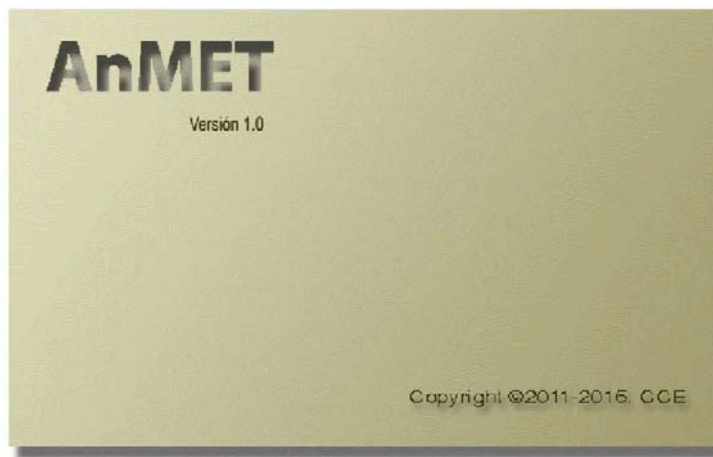


Fig. 2.18. Pantalla de presentación de la aplicación.

Posteriormente se muestra la pantalla principal de la aplicación la cual consta de un menú de opciones, los botones de acceso directo y el menú de ayuda.

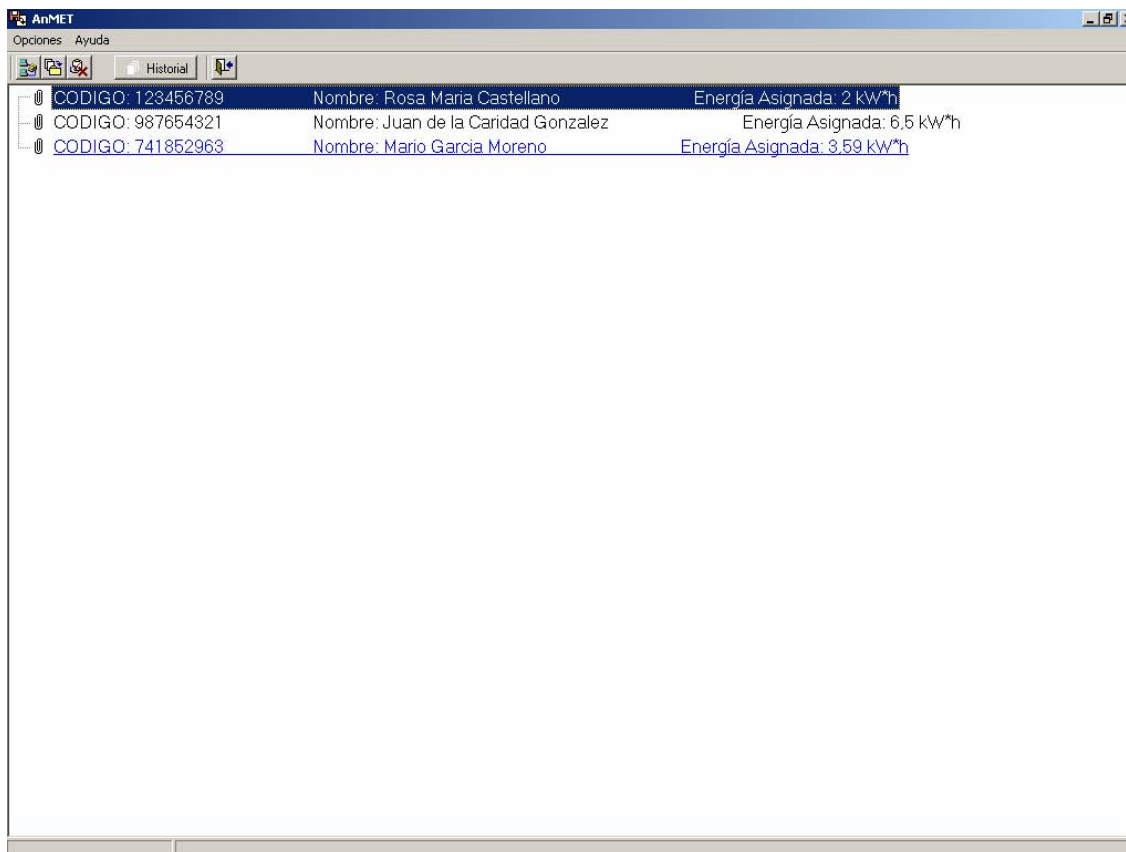


Fig. 2.19. Pantalla principal de la aplicación.

El menú de opciones nos permite asignar la energía a consumir por el usuario, recibir parámetros estadísticos del controlador, eliminar usuarios de la base de datos, y cerrar la aplicación.

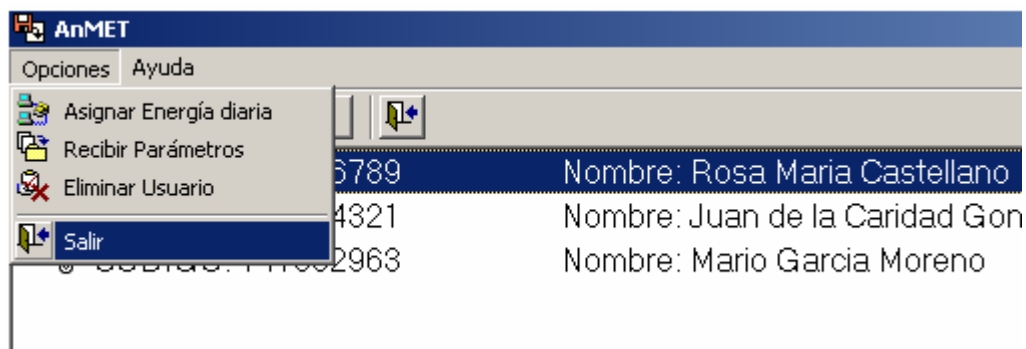


Fig. 2.20. Menú de opciones.

Los botones de acceso directo nos permiten realizar las mismas acciones que por el menú de opciones, pero sin tener que desplegar el menú, excepto la opción de ver historial que solo se realiza por el botón correspondiente.



Fig. 2.21. Botones de acceso directo.

Al hacer click sobre la opción Asignar Energía comienza el proceso de comunicación con el dispensador de energía al cual se este conectado, se debe aclarar que todo este proceso ocurre de forma transparente para los usuarios, ya que en ningún momento se interrumpe el funcionamiento del controlador, como primer paso se envía la trama de identificación, por su parte el controlador contesta enviando el código que lo identifica, el cual se encuentra grabado en la memoria EEPROM del equipo en cuestión. En caso de no recibir nada la aplicación vuelve a repetir el proceso de identificación hasta 5 veces, si en la última petición no recibe respuesta se muestra un mensaje de error en la pantalla, ver diagrama de flujo Fig. 2.22. De recibirse el código de identificación del controlador sin problema la aplicación busca en su base de datos el código recibido y visualiza en pantalla la ventana Asignar Energía (Fig. 2.23) con los datos del usuario, el último valor de energía asignada que tuvo el usuario y un menú para introducir el nuevo valor de energía, una vez que se ajuste el nuevo valor de energía, se presiona el botón enviar, una vez que el nuevo valor ha sido actualizado en la memoria EEPROM del controlador entonces se actualiza el historial del usuario en la base de datos y se muestra un mensaje en pantalla indicando que se logró con éxito la asignación de energía, ver diagrama de flujo Fig. 2.24.

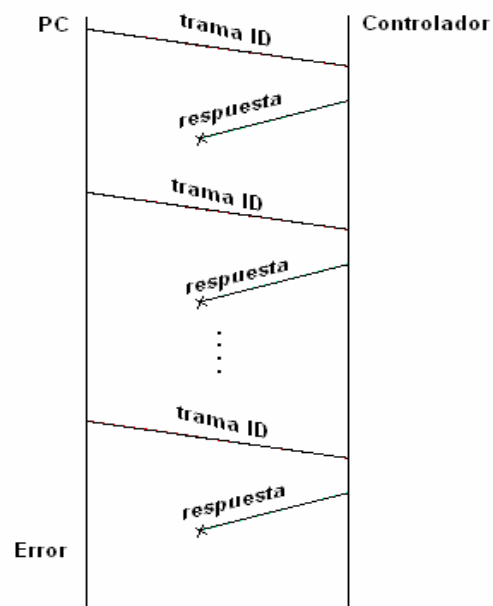


Fig. 2.22. Diagrama de flujo proceso de identificación.

Asignar Energía

Datos del Usuario

Código: 123456789

Nombre y Apellidos: Rosa Maria Castellano

Ultimo Valor de Cuota de Energía Diaria Asignada

4,3 kWh

Asignación de Nueva Cuota de Energía Diaria:

Cantidad de kWh: 1

Paso: ☒ 1 ☐ 0.1

Enviar

Cancelar

Fig. 2.23. Ventana para asignar la cuota de energía.

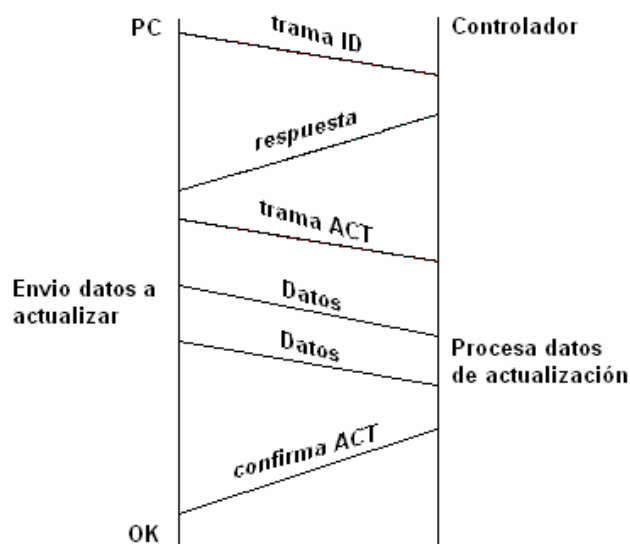


Fig. 2.24. Diagrama de flujo proceso de asignación de energía.

Para recibir los parámetros estadísticos almacenados en la memoria EEPROM del controlador se realiza un proceso de identificación similar al descrito anteriormente, una vez recibido el código del controlador se le envía al controlador la trama de parámetros, por su parte el controlador contesta enviando el paquete de información que contiene los valores estadísticos, ver diagrama de flujo Fig. 2.26, la aplicación adiciona en la base de datos los valores recibidos, el código del controlador y la fecha en que fueron guardadas las estadísticas. Durante todo este proceso se visualiza en pantalla una ventana de espera (Fig. 2.25) y se finaliza con un mensaje.

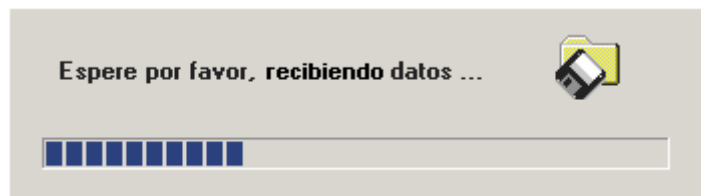


Fig. 2.25. Ventana de espera.

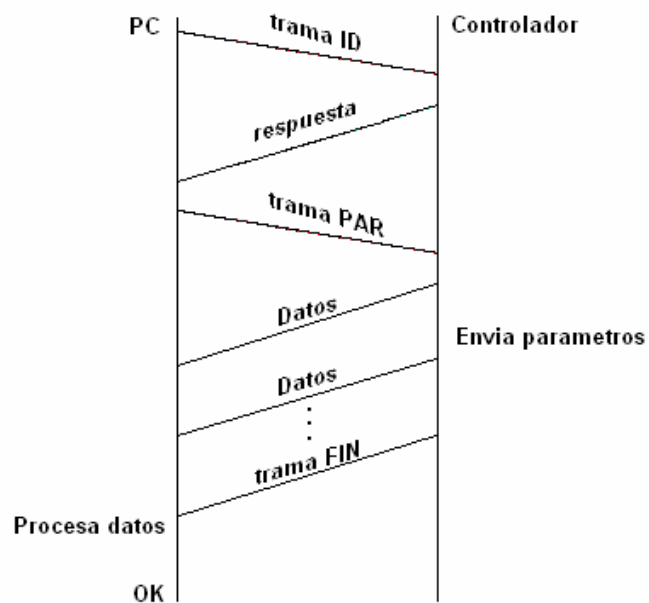


Fig. 2.26. Diagrama de flujo proceso de recepción de parámetros.

Para visualizar el historial de un usuario, seleccione el nombre del usuario dentro de la lista de usuarios que aparecen en la pantalla principal, después de click sobre el botón Historial y aparecerá una ventana de Historial (ver Fig. 2.27) en la que se muestra el código del controlador, el nombre del usuario de dicho controlador y el valor de la energía asignada, además organizada por fecha toda la estadística del controlador. Dentro de los parámetros estadísticos que se registran está la energía asignada, el voltaje máximo, la corriente máxima, el consumo máximo, el consumo acumulado, y la energía no consumida dentro de la cuota asignada.

Historial		
▢ CODIGO: 741852963	Nombre: Mario Garcia Moreno	Energía Asignada: 3.59 kW*h
▢ Fecha: 11/06/2011		
Energía asignada:	7,6 kWh	
Voltaje máximo:	118,52 V	
Corriente máxima:	4,3 A	
Consumo máximo:	509,64 kWh	
Consumo acumulado:	0 kWh	
Energía NO consumida:	0 kWh	
▢ Fecha: 12/07/2011		
Energía asignada:	7,6 kWh	
Voltaje máximo:	112,35 V	
Corriente máxima:	5,2 A	
Consumo máximo:	584,22 kWh	
Consumo acumulado:	100 kWh	
Energía NO consumida:	2,3 kWh	
▢ Fecha: 10/08/2011		
Energía asignada:	7,6 kWh	
Voltaje máximo:	111,03 V	
Corriente máxima:	2,5 A	
Consumo máximo:	277,58 kWh	
Consumo acumulado:	150 kWh	
Energía NO consumida:	1,5 kWh	

Fig. 2.27. Ventana de historial.

Al hacer click sobre la opción Eliminar Usuario, nos aparece una ventana (Fig. 2.28) en la cual se selecciona el usuario que se desea eliminar de la base de datos del sistema, siempre recordando que todo el historial de ese usuario será eliminado también, una vez seleccionado el usuario en cuestión se oprime el botón Eliminar, se nos mostrará un mensaje preguntando si realmente desea eliminar el usuario, en caso de aceptar pues se procede a eliminar todos los registros del usuario de la base de datos, una vez concluido el proceso de eliminación se muestra un mensaje en pantalla.

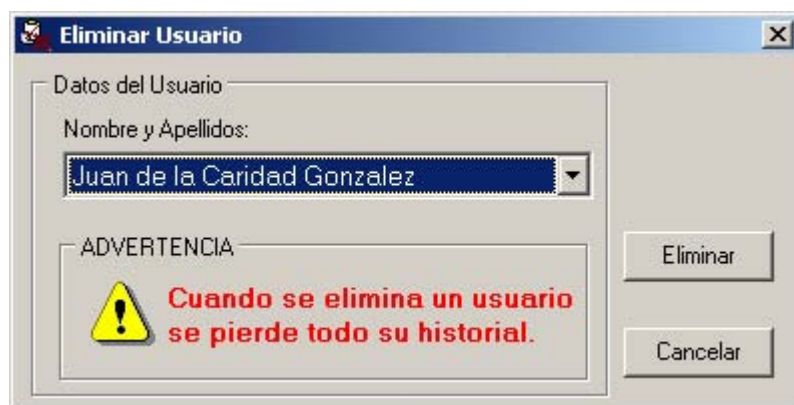


Fig. 2.28. Ventana para Eliminar usuarios.

2.5. Conclusiones del capítulo.

Utilizando las herramientas de diseño y la metodología, a lo largo de este capítulo se han ido describiendo en diferentes epígrafes todos los pasos necesarios para el desarrollo del dispensador de energía, se debe aclarar que en la explicación del software solo se han comentado las líneas más relevantes.

En el diseño se han tenido en cuenta todos los requerimientos funcionales y técnicos que debe cumplir el dispensador de energía, según la tarea técnica.

Construcción y evaluación del dispensador de energía.

Introducción

En este capítulo se explican los pasos para la fabricación del prototipo del dispensador de energía, las operaciones efectuadas para la construcción de todas sus partes y las conexiones de éstas. También se describe el montaje, la instalación, la evaluación de su funcionamiento práctico, así como se presentan los resultados finales de evaluación.

3.1. Diseño de los circuitos impresos.

Para la fabricación del dispensador de energía se diseñaron los circuitos impresos de 3 tarjetas electrónicas utilizando el software ORCAD v.16, empleando las reglas de diseño internacionales ya que estas se fabricaron en la República Popular China. El sistema consta de las siguientes tarjetas electrónicas, con las siguientes características:

1. La tarjeta electrónica del dispensador de energía: con doble capa, metalizado y silkscreen, en la que se usan componentes con dos tipos de tecnología de montaje, through hole y montaje superficial SMD.
2. La tarjeta electrónica de la interfaz de comunicación: simple capa y silkscreen solo para tecnología de montaje through hole.
3. La tarjeta electrónica para la conmutación de la carga conectada: simple cara y silkscreen, con tecnología through hole.

A continuación se muestran imágenes de los diseños de los circuitos impresos de la tarjeta electrónica fabricada para el dispensador de energía.

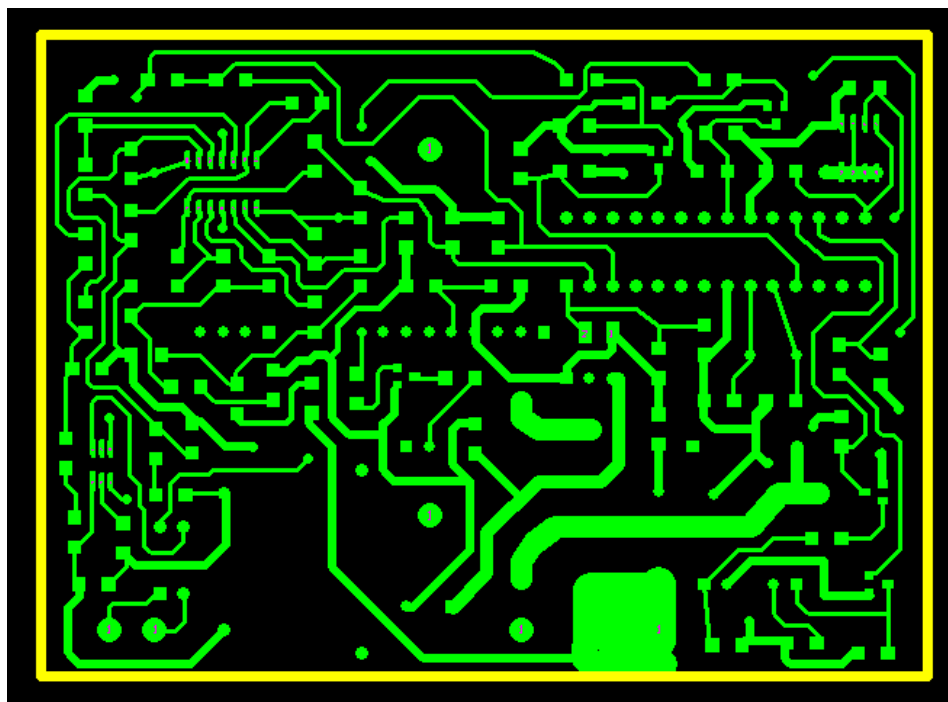


Fig. 3.1. Tarjeta electrónica del dispensador de energía, cara de componentes.

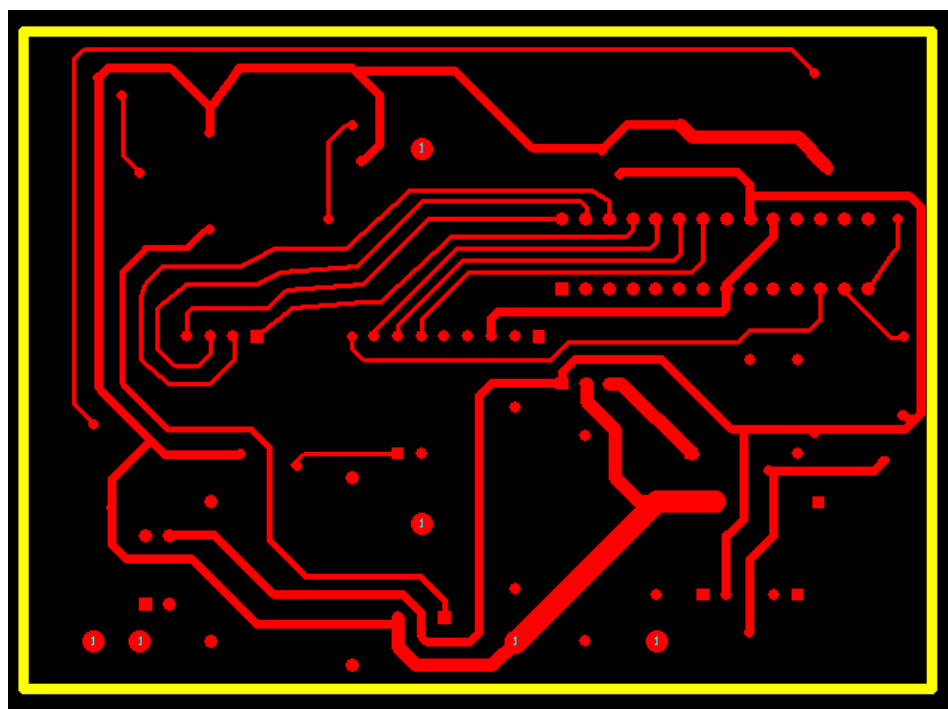


Fig. 3.2. Tarjeta electrónica del dispensador de energía, cara de soldadura.

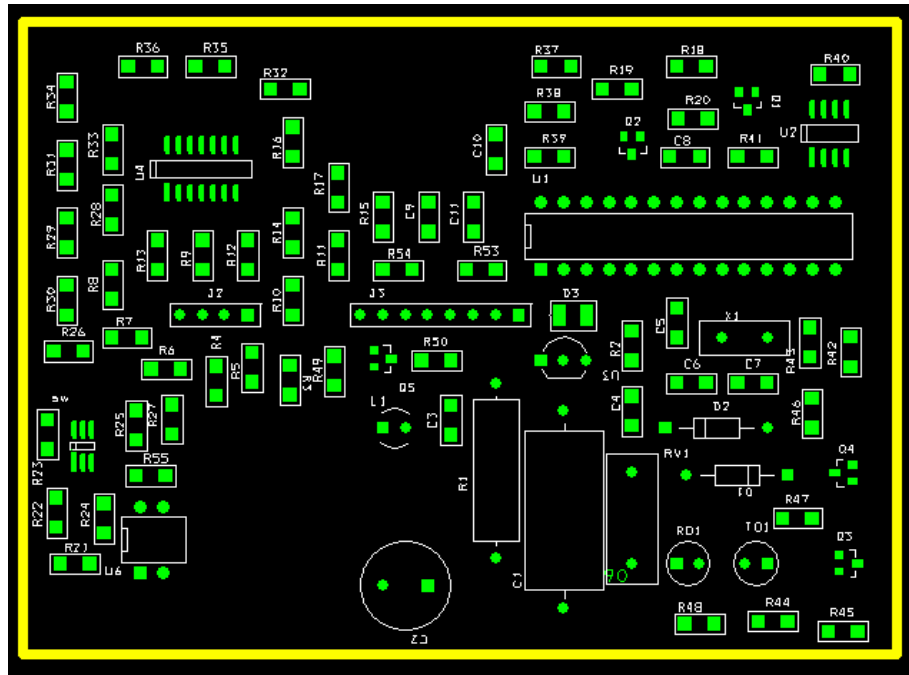


Fig. 3.3. Tarjeta electrónica del dispensador de energía, Silkscreen.

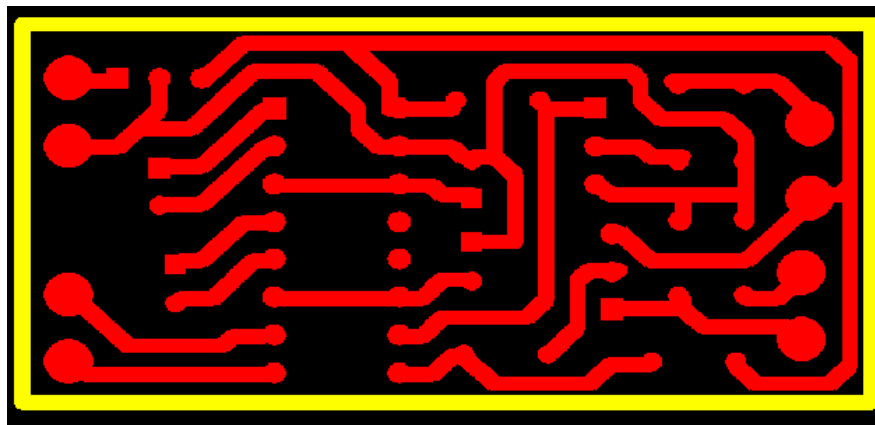


Fig. 3.4. Tarjeta electrónica de la interfaz de comunicación, cara de soldadura.

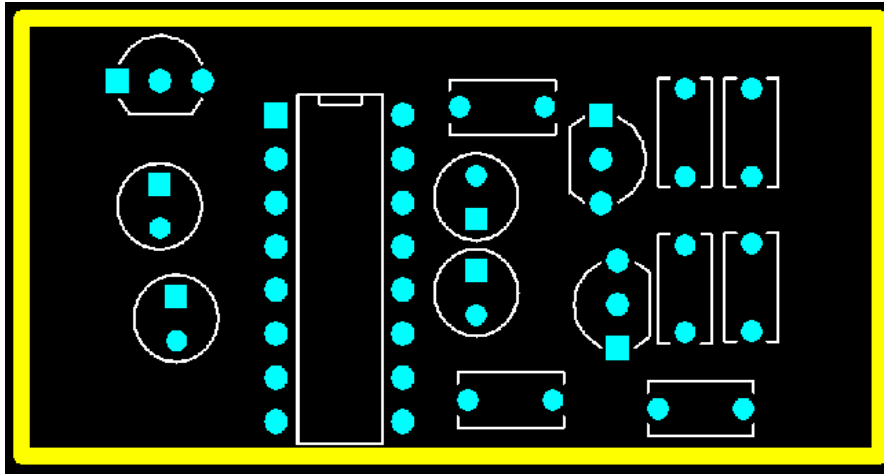


Fig. 3.5. Tarjeta electrónica de la interfaz de comunicación, Silkscreen.

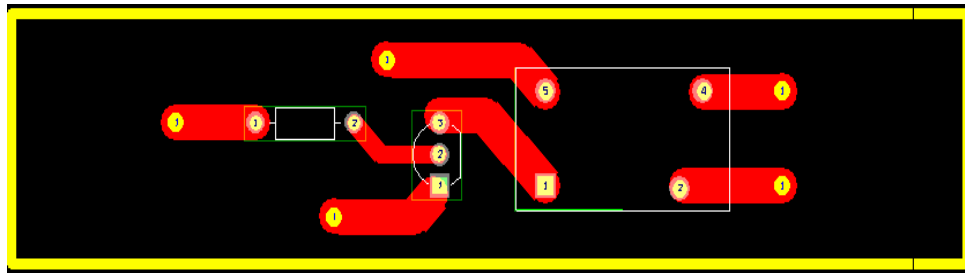


Fig. 3.6. Tarjeta electrónica de la interfaz de desconexión.

3.2. Construcción de interfaces electrónicas del dispensador de energía.

Para la construcción del dispensador de energía se realizan las siguientes operaciones:

- Montaje y soldadura de los componentes electrónicos en las tarjetas.
- Medición y puesta a punto del hardware, comenzando por la interfaz principal del dispensador de energía, con sus dos tarjetas por separado, una vez que se conoce que no hay errores de hardware se procede a realizar la programación del microcontrolador PIC, se ajusta el programa del PIC, se verifica la conexión y operación de la interfaz de desconexión, el funcionamiento del indicador LCD y el trabajo de la memoria EEPROM.
- Medición y puesta a punto del hardware de la interfaz de comunicación óptica con la PC, una vez que se conoce que no hay

errores de hardware se procede a realizar la comprobación de la comunicación óptica con la PC por puerto serie empleando el programa AnMET y otros microprogramas de prueba.

- Finalmente se procede a verificar el prototipo con un protocolo de pruebas al nivel de laboratorio, dejando listo el dispensador de energía para su instalación y validación con la realización de pruebas de campo en condiciones de explotación.

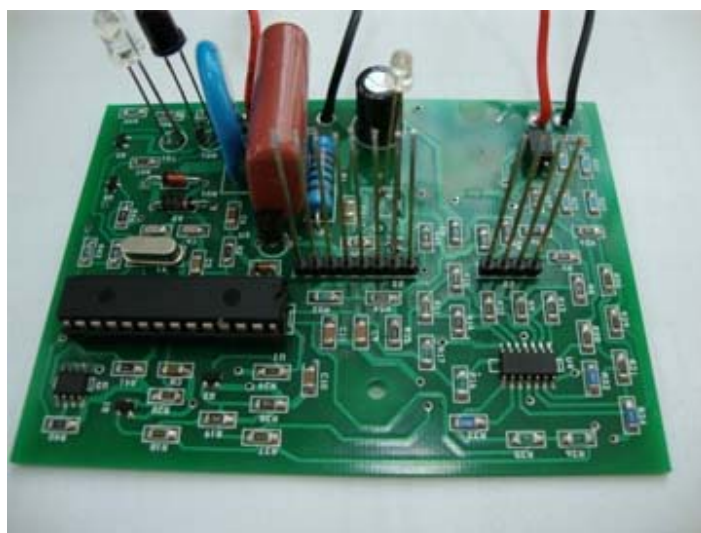


Fig. 3.7. Tarjeta del dispensador con componentes montados.



Fig. 3.8. Ensamblaje del dispensador.



Fig. 3.9. Tarjeta de la interfaz de desconexión.



Fig. 3.10. Verificando las conexiones.



Fig. 3.11. Dispositivo para conmutar la salida hacia la carga.

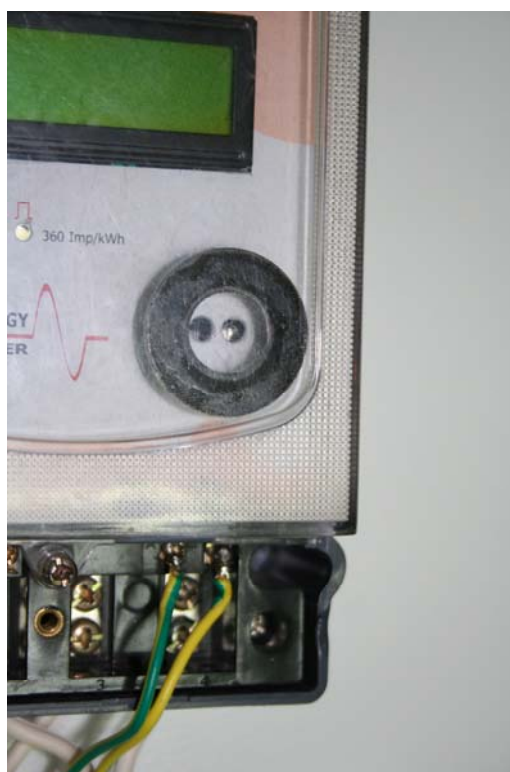


Fig. 3.12. Conector para la comunicación óptica.



Fig. 3.13. Cable con interfaz para la comunicación óptica.



Fig. 3.14. Proceso de comunicación con la PC.



Fig. 3.15. Equipo ensamblado completamente.

3.3. Conexiones del dispensador de energía.

Para la instalación del dispensador de energía a la red de alimentación y para la salida hacia la carga conectada, se usa una bornera de conexión con tornillos de 5 mm, el cableado de instalación debe ser de 8 AWG (American Wire Gauge), ya que la corriente de funcionamiento puede estar en el entorno de los 40 A.

Otro aspecto importante es la conexión del vivo y neutro tanto en la entrada como en la salida (ver Fig. 3.16), también hay que tener en cuenta que los cables queden apretados fijamente con los tornillos, de haber falso contacto en la conexión provoca calentamiento y pérdidas de energía.

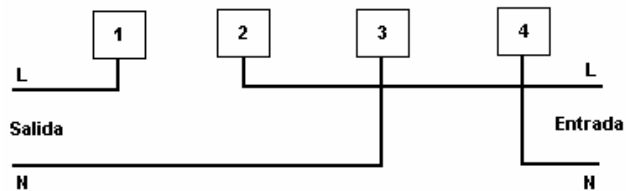


Fig. 3.16. Diagrama de conexión del dispensador de energía a la red eléctrica.

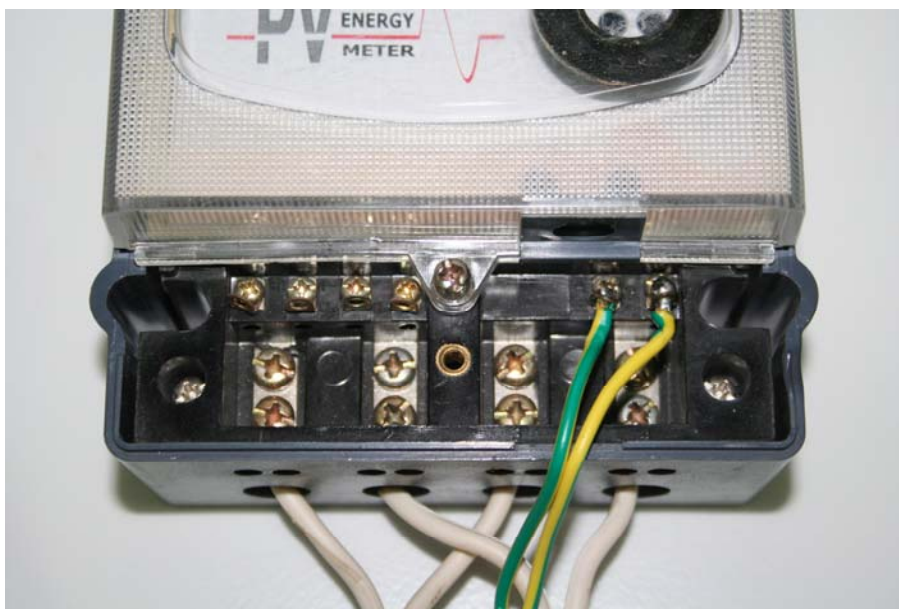


Fig. 3.17. Conexión de los cables en la bornera.

3.4. Resultados de la verificación y la validación del dispensador de energía.

Para la verificación y validación del dispensador de energía se usó la norma cubana que es homóloga a la norma española UNE-EN 62053-21, editada en el 2003 [UNE_03], y que actualmente se usa para verificar y validar cualquier equipo medidor de energía en el país, para ello se realizó un protocolo de ensayo. El equipamiento que se usó fue una mesa de pruebas que está calibrada por el patrón nacional y que existe en el laboratorio de calibración de la UNE provincial de Pinar del Río, este equipamiento mide varios parámetros, pero siempre basándose en la relación Impulsos/kWh para determinar el % de error en la medición de energía que posee el equipo a validar, en nuestro caso el dispensador de energía. A continuación explicamos los parámetros que se verificaron y validaron.

- **Ensayo # 1: Potencia absorbidas**

Según la norma el total de la potencia absorbida por el circuito de tensión no debe exceder de los 2 W, en el caso de la potencia absorbida por el circuito de intensidad no debe exceder los 4 VA, el dispensador de energía obtuvo un valor de consumo de 70 uV al vacío, y a su voltaje nominal de 127 V, lo que

representa un consumo de 8,9 mVA, por lo que cumple con los parámetros establecidos por la norma.

- **Ensayo # 2: Precisión ante variaciones de voltajes.**

En esta prueba se somete al dispensador de energía a variaciones de potencial alrededor de un 15% de su voltaje nominal, se mantiene la corriente nominal y el factor de potencia igual a 1, toda esta prueba se realiza en la mesa de prueba que mide el % de error de energía que mide el dispensador de energía con respecto a la que tiene aplicada, según la norma no debe sobrepasar el 2% de error [UNE_03]. Como resultado de este ensayo se pudo observar que el dispensador de energía nunca supera el $\pm 1\%$ de error en la medición de energía. Los resultados se observan en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Resultados del ensayo de variaciones de voltaje.

NUMERO DE PRUEBAS	PARÁMETROS PROGRAMADO EN LA MESA DE PRUEBA			RESULTADOS MEDIDOS POR EL DISPENSADOR DE ENERGÍA			RESULTADO DEL ERROR EN LA MEDICIÓN DEL CONSUMO (%)
	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	FACTOR DE POTENCIA	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	FACTOR DE POTENCIA	
1	105	10	1	105,4	9,96	1	0,261
2	110	10	1	110,7	9,98	1	-0,183
3	115	10	1	115,4	9,97	1	-0,372
4	120	10	1	120,3	9,99	1	0,255
5	125	10	1	125,9	9,97	1	-0,421
6	130	10	1	130,2	9,98	1	-0,643
7	105	30	1	105,3	29,99	1	0,173
8	110	30	1	110,7	29,97	1	-0,543
9	115	30	1	115,5	29,97	1	0,235
10	120	30	1	120,6	29,98	1	0,398
11	125	30	1	125,6	29,97	1	0,293
12	130	30	1	130,2	29,99	1	-0,439

- **Ensayo # 3: Precisión ante variaciones de corrientes.**

En este ensayo se somete al dispensador de energía a variaciones de corrientes de hasta un 30% de su corriente nominal, se mantiene el voltaje nominal y el factor de potencia igual a 1, toda esta prueba se realiza en la mesa de prueba para conocer el % de error en la medición de energía del

dispensador, según la norma no debe sobrepasar el 2% de error [UNE_03]. Como resultado de este ensayo se pudo observar que el dispensador de energía nunca supera el $\pm 1\%$ de error en la medición de energía. Los resultados se observan en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Resultados del ensayo de variaciones de corriente.

NÚMERO DE PRUEBAS	PARÁMETROS PROGRAMADO EN LA MESA DE PRUEBA			RESULTADOS MEDIDOS POR EL DISPENSADOR DE ENERGÍA			RESULTADO DEL ERROR EN LA MEDICIÓN DEL CONSUMO (%)
	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	FACTOR DE POTENCIA	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	FACTOR DE POTENCIA	
1	127	1,0	1	127,2	0,99	1	0,161
2	127	1,5	1	127,2	1,49	1	0,143
3	127	2,0	1	127,1	1,98	1	0,172
4	127	2,5	1	127,3	2,45	1	-0,255
5	127	3,0	1	127,2	2,96	1	-0,721
6	127	3,5	1	127,4	3,39	1	-0,843
7	127	4,0	1	127,1	3,96	1	-0,173
8	127	4,5	1	127,1	4,44	1	0,456
9	127	5,0	1	127,3	4,87	1	-0,235
10	127	5,5	1	127,2	5,48	1	0,498
11	127	6	1	127,4	5,93	1	0,093
12	127	6,5	1	127,3	6,46	1	0,034
13	127	7	1	127,3	6,91	1	-0,290
14	127	7,5	1	127,3	7,35	1	-0,801
15	127	8	1	127,1	7,91	1	-0,553
16	127	8,5	1	127,2	8,45	1	-0,599
17	127	9	1	127,1	8,98	1	-0,127
18	127	9,5	1	127,3	9,39	1	-0,682
19	127	10	1	127,4	9,87	1	-0,631
20	127	11	1	127,4	10,81	1	0,235
21	127	12	1	127,3	11,87	1	-0,555
22	127	13	1	127,2	12,91	1	-0,345
23	127	14	1	127,4	13,98	1	0,432
24	127	15	1	127,2	14,95	1	-0,180
25	127	16	1	127,1	15,87	1	-0,210
26	127	17	1	127,3	16,89	1	-0,431
27	127	18	1	127,3	17,93	1	0,013
28	127	19	1	127,2	18,97	1	0,145
29	127	20	1	127,4	19,99	1	0,432
30	127	21	1	127,0	20,89	1	-0,342
31	127	22	1	127,1	21,97	1	-0,167
32	127	23	1	127,2	22,99	1	0,324

33	127	24	1	127,2	23,89	1	-0,245
34	127	25	1	127,1	24,91	1	-0,237
35	127	26	1	127,1	25,98	1	-0,543
36	127	27	1	127,1	26,99	1	-0,123
37	127	28	1	127,0	28,19	1	0,834
38	127	29	1	127,0	28,98	1	0,456
39	127	30	1	127,0	29,97	1	0,145
40	127	31	1	127,1	31,21	1	0,564
41	127	32	1	127,2	31,99	1	0,432
42	127	33	1	127,2	32,97	1	-0,156
43	127	34	1	127,1	33,95	1	-0,467
44	127	35	1	127,3	34,98	1	-0,324
45	127	36	1	127,3	35,93	1	-0,455
46	127	37	1	127,0	36,91	1	-0,567
47	127	38	1	127,0	37,89	1	-0,599
48	127	39	1	127,1	38,85	1	-0,670
49	127	40	1	127,0	39,83	1	-0,820

• **Ensayo # 4: Precisión ante variaciones de factor de potencia.**


En este ensayo se somete al dispensador de energía a variaciones de factor de potencia desde 1 hasta 0,5 tanto inductivo como capacitivo, se mantiene el voltaje nominal y en el caso de la corriente se realizó con dos valores, el nominal y el 30% del nominal, toda esta prueba se realiza en la mesa de prueba para conocer el % de error en la medición de energía del dispensador de energía, según la norma no debe sobrepasar el 2% de error [UNE_03]. En nuestro caso se realizó esta prueba tal y como dice el ensayo. Los resultados se observan en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Resultados del ensayo de variaciones de factor de potencia.

NÚMERO DE PRUEBAS	PARÁMETROS PROGRAMADO EN LA MESA DE PRUEBA			RESULTADOS MEDIDOS POR EL DISPENSADOR DE ENERGÍA			RESULTADO DEL ERROR EN LA MEDICIÓN DEL CONSUMO (%)
	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	FACTOR DE POTENCIA	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	FACTOR DE POTENCIA	
1	127	10	1	127,4	9,87	1	-0,631
2	127	10	0,8 (IND)	127,7	9,86	0,8	-0,324
3	127	10	0,5 (IND)	127,4	9,89	0,5	-0,235
4	127	10	0,8 (CAP)	127,3	9,87	0,8	0,255
5	127	10	0,5 (CAP)	127,9	9,88	0,5	0,127
6	127	30	1	127,3	29,97	1	0,142

7	127	30	0,8 (IND)	127,7	29,99	0,8	-0,127
8	127	30	0,5 (IND)	127,5	29,97	0,5	0,342
9	127	30	0,8(CAP)	127,6	29,98	0,8	-0,562
10	127	30	0,5 (CAP)	127,6	29,96	0,5	0,432

Después de realizar el protocolo de ensayo y comprobar el correcto funcionamiento del dispensador, los compañeros del laboratorio de calibración de la UNE Provincial Pinar del Río emitieron un certificado de calibración del dispensador de energía.



TALLER DE METROS CONTADORES. OBE PROVINCIAL P. DEL RÍO.
CERTIFICADO DE CALIBRACION

No. 405 PAGINA 1/2

DENOMINACION DEL INSTRUMENTO CEE

No. Serie: _____ Fabricante: CEE Modelo: MC010

Rango: 127V 10-40A 10-30 Exactitud: _____

PERTENECIENTE A: Contratado Compuestos Eléctricos

DIRECCIÓN: Km 2 1/2 Ppto. Alvaro Pardo

FECHA CALIBRACION 5/5/10

Se Certifica que el Instrumento se encuentra:

DENTRO DE LOS LIMITES ☒ FUERA DE LOS LIMITES ☐

REALIZADO POR Rosé C. Quirós FIRMA [Firma]

APROBADO POR Enric Horta FIRMA [Firma]

FECHA DE EMISION 5/5/2010

E. ELECTRIC P. DEL RIO
LABORATORIO DE CEE
UEB.SERV. CON.

DIRECCIÓN DEL LABORATORIO Km 1 1/2 Carretera Coloma P. del Río

Teléfono: 753345

PAGINA 2/2

MÉTODOS DE CALIBRACIÓN Y DOCUMENTOS EMPLEADOS _____

PATRONES DE REFERENCIA UTILIZADOS 312462-6 (E31013)

CONDICIONES AMBIENTALES DE REFERENCIAS

Temperatura: 23± 2 °C Humedad Relativa: 60± 20%

CONDICIONES AMBIENTALES DE CALIBRACION

Temperatura: 21,0 °C Humedad relativa: 62,0 %

INCERTIDUMBRE EXPANDIDA _____ con factor de Cobertura k=2

INCERTIDUMBRE ASOCIADA _____

OBSERVACIONES 74-102A 24h-0,006

Bobina	115 V		V	
0-40 A	Incertidumbre		Incertidumbre	
Prueba	Fp=1	Fp=0.5	Fp=1	Fp=0.5
25 A				
1 A				

Los patrones utilizados son trazables a los del Servicio Nacional de Metrología, los cuales mantienen unidades de medida de acuerdo al SI, Mediante la intercomparación o calibración periódicamente con patrones nacionales o internacionales en otros países.

ATENCIÓN: Queda prohibida la reproducción de este documento.

3.5. Conclusiones del capítulo.

Como se pudo constatar en este capítulo, se comprobaron todos los parámetros establecidos en la tarea técnica, cumpliendo exitosamente con todos los requisitos funcionales tanto del hardware como del software, logrando alcanzar el certificado de validación del producto.

Valoración técnico-económica del dispensador de energía.

Introducción

En este capítulo se explican las consideraciones tecnológicas y económicas que se tuvieron en cuenta para la fabricación del prototipo del dispensador de energía y la posible producción de serie cero.

4.1. Consideraciones tecnológicas para la aplicación práctica.

Para la aplicación práctica de este resultado, se han realizado las siguientes acciones:

1. La elaboración de una Carta Tecnológica preliminar para la fabricación de una serie cero de decenas de unidades del dispensador de energía en condiciones industriales.
2. La elaboración de la Carta de Verificación funcional del dispensador de energía para la evaluación del mismo mediante pruebas y ensayos en la línea de producción.
3. La elaboración del Manual de Operación y del Manual de Explotación del dispensador de energía, para que sea fácil su instalación, uso y la reparación.
4. La elaboración de tablas para los pedidos de las partes y piezas a los suministradores.

4.2. Gastos de la investigación.

Para establecer el costo durante la etapa de desarrollo, se tiene en cuenta el cronograma de actividades planificadas, las cuales describen las tareas básicas que implican la realización del proyecto. Las actividades desarrolladas en el proyecto se comenzaron en la Empresa de Componentes Electrónicos “Ernesto Che Guevara” donde se desarrollo el diseño, la fabricación del prototipo se realizó en la República Popular China en conjunto con la firma North Star radicada en Beijing, la evaluación y

verificación se realizaron en el laboratorio de calibración de la UNE Provincial de Pinar del Río, según se aprecia en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Cronograma de actividades para realizar el proyecto.

Etapas del Proyecto	Tiempo	Recursos
<u>Factibilidad</u> <ul style="list-style-type: none"> Búsqueda bibliográfica. Estudio y análisis de la bibliografía Diseño del proyecto. Análisis de la factibilidad técnico económica. 	2 meses	Tiempo de Máquina.
<u>Diseño Preliminar</u> <ul style="list-style-type: none"> Diseño de las soluciones de Hardware y Software para la comunicación óptica por puerto serial con la PC, la interfaz y demás partes. Obtención de resultados al nivel de maqueta. Simulación de microprogramas Puesta a punto de programa utilizando las herramientas de diseño: MPLAB 7.5, OrCAD 16. 	4 meses	Tiempo de Máquina. Herramientas de diseño.
<u>Fabricación del Prototipo</u> <ul style="list-style-type: none"> Construcción del dispensador de energía Verificación del funcionamiento. 	1 mes	Herramientas, Equipo de medición
<u>Validación del Funcionamiento.</u>	1 mes	Mesa de validación.

Para llevar a cabo el cálculo de los gastos en la etapa de investigación, se tiene en cuenta gastos en moneda nacional como fue el tiempo dedicado a la ejecución del proyecto, el tiempo de trabajo en la computadora, el período de elaboración del prototipo ya que aunque se realizó en la República Popular China, el salario fue en moneda nacional. En la Tabla 4.2 se muestra el tiempo y el salario devengado en la elaboración del proyecto.

Tabla 4.2. Gastos directos por concepto de salario durante la investigación.

Actividades	Horas empleadas	Gastos actividades en CUP
Revisión bibliográfica	100	300.00
Estudio de la información.	160	420.00
Consulta con expertos	40	120.00
Factibilidad del proyecto.	100	300.00
Diseño Preliminar.	600	1800.00
Construcción y Evaluación del Prototipo.	300	900.00
Total: 3840.00		

Para poder realizar el prototipo en la República Popular China se incurrieron en gastos de proyecto en USD, solo se tienen en cuenta el mes que se trabajó en este proyecto, los cuales fueron:

- Hospedaje durante la elaboración del prototipo fue de 746.26 USD
- Gasto de agua ese mes fue de 29.85 USD
- Gasto de electricidad fue 50.00 USD
- Gastos de gas para cocinar 35.53 USD
- Gastos por Internet 59.70 USD
- Gastos de transporte 20.00 USD
- Gasto de dieta 500.00 USD

El total de gastos por conceptos de investigación en moneda nacional fue de 3840.00 CUP y 1441.34 USD.

4.3. Gastos de fabricación de prototipo.

En el cálculo del costo de la fabricación del prototipo, se tienen en cuenta el costo de los materiales empleados en la fabricación del prototipo, que fue de 16,26 USD y se describen en la tabla 4.3.

Tabla 4.3. Costo de las partes y piezas que posee el dispensador de energía.

DESCRIPCION	UM	CONSUMO	MONTAJE	PRECIO
Resistencia metálica 2 W 1% 220 OHM	U	1.0000	THROUGH HOLE	0.05
Resistencia metálica 1/4 W 1% 10 K	U	5.0000	SMD	0.005
Resistencia metálica 1/4 W 1% 510 K	U	4.0000	SMD	0.004
Resistencia metálica 1/4 W 1% 1K5	U	4.0000	SMD	0.004
Resistencia metálica 1/4 W 1% 24 K	U	10.0000	SMD	0.01
Resistencia metálica 1/4 W 1% 670 K	U	3.0000	SMD	0.003
Resistencia metálica 1/4 W 1% 150 K	U	4.0000	SMD	0.004
Resistencia metálica 1/4 W 1% 40 K	U	2.0000	SMD	0.002
Resistencia metálica 1/4 W 1% 1 K	U	2.0000	SMD	0.002
Resistencia metálica 1/4 W 1% 80 OHM	U	1.0000	SMD	0.001
Resistencia metálica 1/4 W 1% 1K70	U	4.0000	SMD	0.004
Resistencia metálica 1/4 W 1% 360 K	U	3.0000	SMD	0.003
Resistencia metálica 1/4 W 1% 100 K	U	2.0000	SMD	0.002
Resistencia metálica 1/4 W 1% 6K8	U	3.0000	SMD	0.003
Resistencia metálica 1/4 W 1% 220 OHM	U	2.0000	SMD	0.002
Resistencia metálica 1/4 W 1% 470 OHM	U	2.0000	SMD	0.002
Resistencia metálica 1/4 W 1% 620 OHM	U	1.0000	SMD	0.001

Resistencia metálica 1/4 W 1% 5K6	U	1.0000	SMD	0.001
Transistor BC 337	U	5.0000	SMD	0.05
Transistor BC 327	U	1.0000	SMD	0.05
Diodo 1N4742	U	1.0000	THROUGH HOLE	0.08
Diodo 1N4007	U	1.0000	THROUGH HOLE	0.07
Diodo 1N4148	U	1.0000	SMD	0.03
Varistor S20K420	U	1.0000	THROUGH HOLE	0.09
Condensador 2,2 uF/400V	U	1.0000	THROUGH HOLE	0.15
Condensador Polarizado 470 uF/16V	U	1.0000	THROUGH HOLE	0.02
Condensador 0,1 uF/16V	U	5.0000	SMD	0.05
Condensador 22 pF/16V	U	2.0000	SMD	0.02
Condensador 10 nF/16V	U	2.0000	SMD	0.02
Cristal de Cuarzo de 20 MHz	U	1.0000	THROUGH HOLE	0.1
CI PIC 16F876	U	1.0000	THROUGH HOLE	3.78
Memoria 24C04	U	1.0000	SMD	0.4
CI LM7805C TO220	U	1.0000	THROUGH HOLE	0.15
CI TLC2274	U	1.0000	SMD	0.19
Transmisor Optico 5 mm	U	1.0000	THROUGH HOLE	0.08
Receptor Optico 5 mm OP505A	U	1.0000	THROUGH HOLE	0.09
Diodo Led 5 mm	U	1.0000	THROUGH HOLE	0.05
Conector 4 pines macho	U	1.0000	THROUGH HOLE	0.1
Conector 8 pines macho	U	1.0000	THROUGH HOLE	0.15
Display LCD CMC216L04	U	1.0000	THROUGH HOLE	4.18
Transformador de corriente	U	1.0000		0.8
Caja plástica	U	1.0000		3.1
Bornera de 4 posiciones	U	1.0000		0.8
Spray Tch spray Fine-L-kate SR Enduit	U	0.0050		0.02
Conformante de silicona	U	0.0100		0.15
Hilo de estaño plomo 60/40 de 1 mm	kg	0.0100		0.15
Placa de Circuito Impreso doble cara metalizado	U	1.0000		1.2
Etiqueta	U	1.0000		0.02
Caja de embace	U	1.0000		0.1
Caja de Embalaje	U	1.0000		0.05
Cinta Adhesiva	Rollo	0.0040		0.01
Alcohol	Lts	0.0040		0.005
Bolsa de nylon con cierre 20x30 cm	U	0.0200		0.007
			TOTAL	16.26

El costo de elaboración (salario por mano de obra por montaje de PCB) fue de 1.8 USD. Las herramientas usadas se le da una devaluación del valor de un 4.3 USD.

4.4. Conclusiones del capítulo

El costo total del prototipo fue de: **22.36 USD**, esto no significa que el producto tenga este costo pues cuando se haga mayores cantidades este valor disminuye considerablemente.

Gastos totales.

El Costo total del Proyecto fue de: **3840,00 CUP y 1463,7 USD**.

Conclusiones

Después de haber realizado una intensa búsqueda bibliográfica y teniendo en cuenta los resultados obtenidos a lo largo del trabajo, hemos podido examinar una serie de decisiones de diseño e implementación de un dispensador de energía cuyo propósito es lograr una correcta gestión de la energía que nos brindan los sistemas fotovoltaicos centralizados. A continuación exponaremos cuáles son los principales logros alcanzados:

- Se aplican modernas herramientas de diseño para el desarrollo de aplicaciones con microcontroladores de la familia PIC, lo que garantiza que las soluciones desarrolladas sean: actualizadas, con elevado rigor científico, fiable, eficiente y eficaz.
- Se obtiene con resultados satisfactorios el diseño, la fabricación, la verificación y la validación del dispensador de energía a nivel de prototipo.
- Se desarrolla, aplica y evalúa satisfactoriamente un protocolo de comunicación propio entre la interfaz electrónica del dispensador de energía y la PC para garantizar la recepción y la transmisión de paquetes de datos en ambas direcciones.
- Se desarrolla y ejecuta con éxito, un programa residente en la PC, denominado AnMET elaborado con el software especializado Borland C++ Builder, con el objetivo de monitorear, programar y visualizar los parámetros tecnológicos de la red y almacenar un historial por cada usuario del sistema.
- Se realiza el cálculo económico del costo de los recursos empleados durante la ejecución de este proyecto de investigación, incluyendo la elaboración del prototipo desarrollado.

Recomendaciones

Teniendo en cuenta que este proyecto de investigación constituye una herramienta de gran utilidad para los sistemas fotovoltaicos, se recomienda:

1. Que se aplique de forma inmediata las soluciones técnicas obtenidas con la fabricación de una serie cero del dispensador de energía solicitado.
2. Se recomienda en el caso de la comunicación incorporarle al dispensador de energía, además de la ya existente la opción de comunicación por vía inalámbrica RF y utilizar el puerto USB, para ganar en velocidad de transferencia.

Bibliografía y referencia

- [ABE_06] Abella M. A., "Introducción al diseño y dimensionado de instalaciones de energía solar fotovoltaica.". 2006.
- [ALC_05] Alcor E., Instalaciones Solares Fotovoltaicas, Segunda Edición. 2005. PROGENSA. ISBN 84-86505-54-2. España.
- [ANA_00] Analog Devices, AN-559: A Low Cost Watt-Hour energy Meter Based on the ADE7755. 2000.
- [ANA_01] Analog Devices, AN-564: A Power Meter Reference Design Based on the ADE7756. 2001.
- [BOS_01] Bosch, Postfach 50, D-700 Stuttgart 1. "CAN Specification, version 2.0 edition". 2001.
- [CAN_02] Candiani C., "Desarrollo de Medidores de Energía Eléctrica" Publicación Interna CUDAR, UTN, 2002.
- [CAS_07] Castro M., Colmenar A., Dávila L., "Energía solar fotovoltaica. Monografías técnicas de energías renovables." Editorial Progenra, tomo 7. 2007.
- [CAS_08] Castro M., "Sistemas fotovoltaicos conectados a red. Monografías técnicas de energías renovables." Editorial Progenra, tomo 10. 2008.
- [CEN_96] CENELEC. EN 50170, "General Purpose Field Communication System, Vol. 1/3 (P-NET), Vol. 2/3 (Profibus), Vol. 3/3 (FIP)". Diciembre 1996.
- [CEN_96] CENELEC. EN 50254, "Interbus-S, Sensor and Actuator Network for Industrial Control Systems".
- [DAI_00] Daigle P., "All-Electronic Power and Energy Meters". Analog Dialogue, Vol.33 Number 2, Feb.2000.
- [ENE_00] Energía Solar Fotovoltaica. Colección Cooperación y Tecnología. 2000. ISBN 84-89743-08-8. España.

- [FAO_99] FAO. El impacto de sistemas solares fotovoltaicos en el desarrollo rural, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 1999. Roma.
- [FAO_00] FAO. Energía solar fotovoltaica para la agricultura y desarrollo rural sostenible, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2000. Roma.
- [GOM_02] Gómez Ponce Marco Antonio, Mateos Maestro Jorge Alfredo, Medina Alatorre José Luís. Programación y Aplicaciones de los Microcontroladores PIC. Universidad de Guadalajara. 2002.
- [IBA_03] Ibáñez Eredio P., “Energía fotovoltaica. Aplicaciones y sistemas de generación”. Fundación ROBOTIKER. 2003.
- [IEC_09] IEC 1036 (1996-09), Alternating Current Watt-Hour Meters for Active Energy (Classes 1 and 2). 2009.
- [LAC_04] LACETEL UCT, Manual de Programación de las Herramientas de Diseño Curso Interno de Programación en lenguaje C para desarrollar aplicaciones con PIC. 2004.
- [LAM_04] Lamaison R. M., “Apuntes sobre energía solar fotovoltaica”. 2004.
- [MAN_07] Manual del Software OrCAD 16. CD-R. 2007.
- [MAN_05] Manual del PSPICE, Diseño de circuitos impresos. CD-R. 2005.
- [MAR_06] Martínez García S., “Electrónica de potencia. Componentes, topologías y equipos”. UNED, Editorial Thomson. 2006.
- [MIC_00] MICROCHIP, AN730: CRC Generating and Checking, 2000.
- [MIC_06] Microchip Technology Inc, PICDEM™ PLUS 1. DEMONSTRATION BOARD USER’S GUIDE. 2006.
- [MIC_02] Microchip Technology Inc, Manual de Programación de las Herramientas de Diseño CCS. Software Ensamblador de lenguaje C al lenguaje nemotécnico del PIC familia 18Fxx2. 2002.
- [MIC_03] Microchip Technology Inc, Manual de Programación de las Herramientas de Diseño MPLAB. Software de Simulación y Debug del programa para aplicaciones con PIC. 2003.

- [MIC_04] Microchip Technology Inc, Manual de Programación de las Herramientas de Diseño PICSTAR Plus. Software de Programación del circuito integrado PIC. 2004.
- [MIC_07] Microchip Technology Inc, PIC18F2520 Data Sheet 28/40/44-Pin High-Performance, Enhanced Flash USB Microcontrollers with nanoWatt Technology. 2007.
- [MUÑ_02] Muñoz Díez V., "Sistemas fotovoltaicos conectados a red". Grupo de investigación IDEA. Universidad de Jaén. 2002.
- [NIC_96] Nichols, B. Buttlar, D. y Proulx Farrell, J. "Pthreads Programming". O'Reilly & Associates, Inc. 1996.
- [PRO_99] Progresa, Manual del Usuario de Instalaciones Fotovoltáicas, Promotora General de Estudios S.A., Sevilla. 1999. España.
- [PRO_01] Progresa, Energía Solar Fotovoltáica, Monografías Técnicas de Energía Renovables No. 7, Promotora General de Estudios S.A., Sevilla. 2001. España.
- [PRO_99] Progresa, Manual del Usuario de Instalaciones Fotovoltáicas, Promotora General de Estudios S.A., Sevilla. 1999. España.
- [PRO_01] Progresa, Energía Solar Fotovoltáica, Monografías Técnicas de Energía Renovables No. 7, Promotora General de Estudios S.A., Sevilla. 2001. España.
- [SAR_01] Sarmiento P., "Energía solar en arquitectura y construcción". Ediciones Ingesol Ltda. 2001.
- [SAR_02] Sarmiento P., "Energía solar. Aplicaciones e ingeniería". Ediciones Universitarias Valparaíso de la Universidad Católica de Valparaíso. 2002.
- [THO_05] Thomas R., Fordham M., "Photovoltaics and Architecture". 2005.
- [UNE_03] UNE, Manual equipos de medida de la energía eléctrica, UNE-EN 62053-21. Noviembre 2003.
- [VAN_00] Van Campen B., Energía Solar Fotovoltáica. FAO. 2000. Roma.
- [VAN_00] Van Campen B., Energía Solar Fotovoltáica. FAO. 2000. Roma.

- [VIL_01] Villalta C., Alternativas eficientes para la electrificación rural. Revista Estudios Centroamericanos (ECA). # 629. Marzo 2001. ISBN 0014-1445.
- [VIL_02] Villalta C., Alternativas eficientes para la electrificación rural. Revista Estudios Centroamericanos (ECA). # 630. Marzo 2001. ISBN 0014-1445.

Sitios Web:

- [1] www.datasheet.com
- [2] www.dgtprojects.com
- [3] www.farnell.com
- [4] www.microchip.com
- [5] www.MicroPIC.Enero2005.html
- [6] www.analog.com